

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії

Кафедра електричної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної магістерської роботи

освітньо-кваліфікаційного рівня магістр

галузі знань 14 електрична інженерія

зі спеціальності 141 електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

на тему ФЛІКЕР В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ТА ЙОГО МОНІТОРИНГ

Виконав: студент групи ЕЕ-22дм

Перепелиця Б. С. _____
(прізвище, та ініціали)

Керівник

доц. Філімоненко К. В. _____
(прізвище, та ініціали)

Завідувач кафедри

доц. Руднев Є. С. _____
(прізвище, та ініціали)

Київ
2023 р.

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії
Кафедра електричної інженерії
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Напрямок підготовки 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри
доц. Руднєв Є. С.

« ____ » _____ 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ
Перепелиці Богданові Сергійовичу

1. Тема проекту **ФЛІКЕР В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ТА ЙОГО МОНІТОРИНГ**

2. Керівник проекту доц., к.т.н. Філімоненко Костянтин Вадимович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального № 564/15.23-С від 23.10.2023.

Строк подання студентом проекту 05 грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Вихідні данні визначені в переліку питань, що підлягають розробці в магістерській роботі

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Огляд літературних джерел; джерела розосередженої генерації електричної енергії; основні і додаткові показники якості електроенергії; дослідження гармонічного складу електричної енергії, що генерується сонячним, дизель-генератором, вітровою та малою гідроелектростанцією; дослідження впливу на дозу флікера інтергармонічних та субгармонічних коливань; визначення гармонічного складу та ступеню спотворення форми сигналу

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Плакати, що пояснюють суть магістерської роботи, презентація.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 - 4	доц. Філімоненко К. В.		

7. Дата видачі завдання _____ 16 жовтня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	РОЗОСЕРЕДЖЕНА ГЕНЕРАЦІЯ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	16.10-30.10.2023	
2.	ВПЛИВ НЕЛІНІЙНИХ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА НАЯВНІСТЬ ВИЩИХ ГАРМОНІК В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ	30.10-07.11.2023	
3.	ВПЛИВ НЕЛІНІЙНИХ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА НАЯВНІСТЬ ВИЩИХ ГАРМОНІК В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ	05.11-20.11.2023	
4.	ВПРОВАДЖЕННІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ З КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ.	20.11-01.12.2023	
5.	МОЖЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ	01.12-05.12.2023	
6.	ВИСНОВКИ. ОФОРМЛЕННЯ МР.	02.12-05.12.2023	

Студент _____

Перепелиця Б.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту _____

доц. Філімоненко К.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота Перепелиця Б.С. «Флікер в електричних мережах та його моніторинг». Сторінок – 74; Рисунків – 18; Таблиць –15; Джерел посилань–25.

Магістерська робота присвячена вивченню впливу розподіленої генерації на якість електричної енергії. Проаналізовано загальносвітову тенденцію поступової відмови від централізованого енергопостачання і перехід на розподілену генерацію.

Охарактеризовано існуючі показники якості електричної енергії. Проаналізовано вплив розподіленої генерації на якість електроенергії. Досліджено взаємний вплив різних джерел енергії на гармонічний склад електричної енергії і на дозу флікера. Розглянуто застосування вейвлет-перетворення для визначення окремих показників якості електричної енергії. Розроблено пропозиції про впровадження автоматизованої системи показників якості електричної енергії на промислових підприємствах та побуті.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, РОЗОСЕРЕДЖЕНА ГЕНЕРАЦІЯ, ДОЗА ФЛІКЕРА, ОРТОГОНАЛЬНІ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ, ІНТЕРГАРМОНІЧНІ КОЛИВАННЯ, СУБГАРМОНІЧНІ КОЛИВАННЯ, ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЯ, УЗАГАЛЬНЕНИЙ КОЕФІЦІЄНТ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.

SUMMARY

Perepelytsia Bohdan. «Flicker in electrical networks and its monitoring» VOLODYMYR DAHL EAST UKRAINIAN NATIONAL UNIVERSITY. ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT, gr. EE-22dm. – Kyiv, 2023.

Pages – 74; Drawings – 18; Tables –15; Sources – 25.

The paper is devoted to study of the influence of distributed generation on the quality of electrical energy. The global trend of abandoning centralized energy supply and switching to distributed generation is analyzed.

The existing indicators of the quality of electrical energy are characterized. The influence of distributed generation on the quality of electricity is analyzed. The mutual influence of different energy sources on the harmonic composition of electrical energy and on the dose of flickering was studied. The use of wavelet transformation to determine individual indicators of the quality of electrical energy is considered. Proposals have been developed for the implementation of the automated system of indicators of the quality of electric energy at industrial enterprises and in households

KEY WORDS: QUALITY OF ELECTRICAL ENERGY, DISTRIBUTED GENERATION, FLICKER DOSE, ORTHOGONAL WAVELET TRANSFORMS, INTERHARMONIC OSCILLATIONS, SUBHARMONIC OSCILLATIONS, ELECTRIC POWER, GENERALIZED ELECTRICAL QUALITY COEFFICIENT ENERGY.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 РОЗОСЕРЕДЖЕНА ГЕНЕРАЦІЯ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	14
1.1 Джерела розосередженої генерації електричної енергії	14
1.2 Показники якості електричної енергії	22
1.3 Вплив впровадження джерел розосередженої генерації на роботу систем електропостачання	31
2.1 Побудова електричної мережі із наявністю джерел розосередженої генерації	38
2.2 Дослідження гармонічного складу електричної енергії, що генерується сонячним, дизель-генератором, вітровою та малою гідроелектростанцією	42
2.3 Дослідження взаємного впливу різних джерел енергії на гармонічний склад електричної енергії на дозу флікера	44
2.4 Дослідження впливу на дозу флікера інтергармонічних та субгармонічних коливань	47
РОЗДІЛ 3 ВПЛИВ НЕЛІНІЙНИХ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА НАЯВНІСТЬ ВИЩИХ ГАРМОНІК В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ	50
3.1 Огляд алгоритмів визначення гармонічного складу та ступеню спотворення форми сигналу	50
3.2 Визначення гармонік і флікера за допомогою вейвлет-аналізу	54
РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ВПРОВАДЖЕННІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ З КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ (АСКПЯЕ) НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ	65
4.1 Аналіз принципової можливості впровадження	65
4.2 Можливості технологічного контролю	68
ВИСНОВКИ	70
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЄЕС– Єдина енергетична система

РГ–розподілена генерація

DESS–системи розподіленого зберігання електроенергії

ТЕЦ–теплоелектроцентралі

КВП–коефіцієнт використання палива

ЯЕЕ–якість електричної енергії

ТЗП–точки загального приєднання

ПЯЕ–показники якості електроенергії

КН–коливання напруги

АЧХ–амплітудно–частотна характеристика

ПЕ–приймач електроенергії

ЛДЖ–локальне джерело живлення

ЦЕС–централізована енергетична система

АГ–асинхронні генератори

ЕЕ–електрична енергія

СЕС – сонячна електростанція

ДГ – дизель генератор

ВЕС – вітроелектростанція

МГЕС – мала гідроелектростанція ДПФ–дискретне перетворення Фур’є

ШПФ–швидке перетворення Фур’є

БВП– безперервне вейвлет–перетворення

КМА–коротко–масштабний аналіз

АСКПЯЕ–автоматизована система показників якості електричної енергії

АСОЕ–автоматизована система обліку електричної енергії

ВСТУП

Проблеми ефективності та якості електропостачання, якості електроенергії, забезпечення електромагнітної сумісності споживачів висвітлено в працях Жаркіна А.Ф., Жежеленка І.В., Кузнецова В.Г., Тесика Ю.Ф., Alexander Kusko. Про актуальність проблем електроенергетики свідчить значна кількість досліджень, результати яких відображено в працях багатьох українських та закордонних вчених.

Проблеми надійності та ефективності функціонування електроенергетичних об'єктів і систем, надійності електропостачання, енергозбереження висвітлено в працях Кириленка О.В., Курінного Е.Г., Шидловського А.К. Розробці та застосуванню математичних моделей в електроенергетиці присвячено праці Марченка Б.Г., Праховника А.В., Приймака М.В., Сегеди М.С. Розробці інформаційних систем моніторингу, управління та діагностики присвячено дослідження Баранова Г.Л., Мисловича М.В., Стогнія Б.С. та багатьох ін. На теренах України вирішенням задач в сфері електроенергетики займається, зокрема, Інститут електродинаміки Національної академії наук.

До недавнього часу розвиток електроенергетики як в світі так і в Україні відбувався екстенсивним шляхом, тобто шляхом нарощування енергогенеруючих потужностей, розширення мереж електропостачання, удосконалення систем керування. Однак, в перших десятиліттях ХХІ століття шляхи та стратегії розвитку даної галузі потребують змін. Це зумовлено сукупністю факторів, які визначають потребу кардинальних перетворень:

- технологічний прогрес (підвищення загального рівня автоматизації, розвиток інформаційно-комунікаційних технологій, зростання кількості малих генеруючих (зокрема відновлюваних) джерел енергії);

- посилення вимог споживачів (до якості та асортименту послуг, очікування зниження вартості послуг, потреба в прозорості системи взаємовідносин в галузі);
- зниження надійності (високі втрати при передачі, перетворенні та розподілі електроенергії, висока зношеність обладнання, зниження загального рівня надійності обладнання);
- зміни на ринку (економічна нестабільність, умови функціонування ринків);
- енергоефективність та енергобезпека (потреби у зниженні шкідливого впливу на зовнішнє середовище, енергозбереженні та загальному підвищенні ефективності галузі).

Крім того, для України також досить важливими є питання енергозбереження та енергоефективності, розвитку відновлюваних джерел енергії, які неможливо розв'язати без впровадження сучасних інтелектуальних засобів, зокрема, електролічильників, засобів керування електроживленням.

Актуальними залишаються проблеми:

- неефективна державна політика в сфері енергетики;
- високий відсоток зношеності як енергогенеруючого обладнання, так і обладнання, яке транспортує електроенергію. Наприклад, станом на початок 2014 року заміни потребували енергоблоки теплоелектростанцій (ТЕС), сумарною потужністю до 40% від всієї потужності ТЕС. Як наслідок – зростання кількості аварій та відмов;
- низький коефіцієнт корисної дії енергогенеруючого обладнання (31% у енергоблоках ТЕС проти 45% для розвинених країн світу);
- високий рівень шкідливих викидів на ТЕС, який в рази, а подекуди в десятки разів перевищує встановлені норми як України, так і ЄС;
- низький рівень впровадження технологій та засобів, спрямованих на енергозбереження та підвищення енергоефективності;
- слабкий розвиток альтернативної енергетики та відновлюваних джерел енергії, внаслідок чого їх частка у загальному об'ємі виробленої електроенергії залишається дуже малою. Натомість – енергетика орієнтується на виробництво електроенергії на ТЕС (основне паливо - вугілля) та АЕС;

- необхідність у вдосконаленні нормативно-правової бази, зокрема, з метою забезпечення ефективного функціонування ринку енергоносіїв, електроенергії та паливно-енергетичного комплексу в цілому;

- інтеграція в спільний енергетичний ринок ЄС.

Огляд літературних джерел свідчить, що для сфери енергетики в світі на сьогодні актуальними є тенденції до розвитку розподіленої генерації електроенергії на основі відновлюваних джерел енергії, а також інтелектуальної енергетики на базі концепцій “Електричного світу” та Smart Grid (SMART – Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology – самоконтролююча, аналізуюча та звітуюча технологія).

Основними характерними рисами “Електричного світу” є:

- інтелектуальність (використанні інтелектуальних пристроїв, адресні поставки електроенергії, дотримання принципів енергозбереження);

- системність (комплексне регулювання, накопичення електроенергії, децентралізація електроенергетики);

- екологічність (використання відновлюваних джерел енергії, альтернативних видів палива).

По суті, концепція електричного світу передбачає глибоку інноваційну перебудову всього комплексу генерації, транспортування та розподілу електроенергії з метою створення на його основі інтегрованої, саморегульованої та самовідновлюваної системи, яка включає в себе всі джерела енергії, магістральні та розподільчі енергомережі та споживачів електроенергії. Дана система повинна керуватися дистанційно, спеціалізованою системою інтелектуальних пристроїв в реальному часі.

Застосування принципів електричного світу є визначальним на сьогодні в енергетичній політиці провідних країн світу. Головними цілями тут є енергетична безпека, економічне зростання, екологічна стійкість.

На сьогоднішній день до Smart Grid відносять розробки у сфері генерації, передачі, розподілу та споживання електроенергії. Згідно із [88, 134] Smart Grid – це електричні мережі, які відповідають вимогам ефективного та надійного

функціонування енергосистеми. Це забезпечується за рахунок скоординованого керування та організації двосторонніх комунікацій між елементами електричних мереж, електричними станціями, акумулюючими джерелами і споживачами.

Технології Smart Grid здатні забезпечити оптимальний розподіл потужності в електромережі, зменшення втрат, оперативне реагування при аварійних ситуаціях, можливість об'єднання в одній мережі як великих енергогенеруючих потужностей, так і відносно невеликих відновлюваних джерел енергії.

Програми з розвитку технологій Smart Grid вже прийняті в багатьох країнах світу. Однак, процеси розвитку інтелектуальної енергетики в Україні на сьогоднішній день знаходяться лише на початковому етапі і до широкого їх впровадження потрібно ще чимало часу, заходів та інвестицій.

Технічні, політичні та екологічні фактори останнім часом стимулюють відносно швидкий ріст числа установок розосередженої генерації (РГ) в світі. При цьому загальна встановлена потужність РГ в Україні залишається не великою, та її вплив на роботу енергосистеми залишається незначним. Проте, по мірі того як встановлена потужність РГ збільшується, вплив, який вона має на мережу, буде збільшуватися.

Україна має потужні ресурси вітрової та сонячної енергії. Як приклад, річний технічний вітроенергетичний потенціал дорівнює 30 млрд кВтгод. Експлуатація тихохідних багатопалевних вітроустановок із підвищеним обертаючим моментом є ефективною практично по всій території України.

До складу системи електропостачання РГ входить таке устаткування: вітроенергетична станція (ВЕС), сонячна енергостанція (СЕС), гідроенергетична станція (ГЕС), гідроакумулююча станція (ГАЕС), батарея акумуляторів, що служить для накопичення електроенергії при роботі ВДЕ з метою живлення системи її управління; перетворювальна апаратура, у разі використання генератора змінної напруги, що служить для перетворення електроенергії від ВДЕ у постійний струм для живлення інвертора й заряду акумуляторних батарей і постійного струму від акумуляторів напруги змінного струму зі стандартними параметрами.

На підприємствах актуальним і можливим є впровадження в загальну

структуру системи електроживлення розосередженої генерації на базі відновлюваних джерел. Водночас із метою достатньо енергоефективного використання таких мініелектростанцій у структурних системах електроживлення необхідно ґрунтовно аналізувати питання, що пов'язані з приєднанням джерел розосередженої генерації в комплекс вищезгаданих систем. Характеристика і кількісна оцінка впливу РГ є достатньо складною науково-технічною задачею, постільки повинні бути проаналізовані одночасно аспекти функціонування системи контролю напруги, втрат, якості електроенергії, надійність і багато іншого.

Якість електроенергії – одне з ключових понять в електропостачанні. Зниження показників якості електроенергії негативно впливає на електрообладнання:

- збільшуються втрати енергії у мережах; відбувається перегрів електродвигунів і машин, що обертаються, та це призводить до прискореного старіння ізоляції та підвищення пошкоджуваності у результаті однофазних коротких замикань (КЗ) та їх переходу у багатofазні замикання;
- зростає споживання електричної енергії та необхідної потужності обладнання;
- відбуваються збої та помилкові спрацьовування автоматичних пристроїв і релейного захисту;
- виникає нестабільність функціонування електроніки, обчислювальної техніки, некоректна робота електролічильників.

Якість електроенергії характеризується показниками різного типу. Одна частина показників характеризує перешкоди, пов'язані з особливостями технології генерації, передачі, розподілу та споживання енергії. До таких показників відносять відхилення напруги та частоти, несиметрію та коливання напруги, відхилення від синусоїдальної форми кривої напруги. Інший тип показників характеризує короткочасні перешкоди, які виникають у результаті комутаційних процесів, атмосферних і грозових явищ, роботи захисного обладнання й автоматики, а також післяаварійних режимів. До числа цих показників якості

відносять провали, імпульси напруги, флікер та короточасні перерви електропостачання.

При обговоренні впливу РГ на якість електричної енергії, як правило, існують дві основні проблеми, а саме, флікер напруги та гармоніки. Якість електричної енергії за дозою флікера вважають відповідною вимогам стандарту, якщо кожна короточасна й тривала дози флікера, визначені унаслідок вимірювання протягом 24 год або розрахунку, не перевищують граничнодопустимих значень.

Якщо частка РГ є досить великою, а РГ піддається частим і суттєвим змінам, то флікер напруги можливо відчувається деякими електроприймачами.

Метод зменшення флікера напруги та його ефективність залежать від багатьох факторів і досить складна задача. Якщо РГ взаємодіє через перетворювач, то відносно легко досягти зменшення пускових струмів. Зокрема, потенційними причинами флікера напруги у вітроелектростанції вважались зміна швидкості вітру або зміна вихідної потужності. Проте в конструкції сучасних вітротурбін внесені зміни, які дозволяють ефективно уникати великих коливань потужності протягом короткого періоду часу.

Актуальність теми пов'язана зі збільшенням альтернативних джерел розосередженої генерації, що призводить до погіршення якості електричної енергії за рахунок наявності частотних перетворювачів електричної енергії, що зумовило розроблення інформаційної моделі та методу підвищення точності та швидкодію визначення параметрів якості електричної енергії.

Мета і задачі дослідження. Підвищити точність та швидкість вимірювання параметрів якості електричної енергії в системі електропостачання на основі аналізу інтер та субгармонік.

Для досягнення зазначеної мети дослідження були вирішені такі завдання:

- аналіз сучасного стану методів та засобів оцінювання наявності вищих гармонік в електричній мережі;
- аналіз впливу нелінійних споживачів електричної енергії на наявність вищих гармонік в електричній мережі та їх спільну роботу;

- розробка способу та визначення інтер та субгармонік в електричній мережі.

Об'єктом дослідження є процес оцінювання наявності вищих гармонік в електричній мережі.

Предметом дослідження є методи та засоби оцінювання наявності вищих гармонік в електричній мережі.

Методи дослідження. Методичною основою магістерської дисертації є методи ортогональних перетворень, методи Фур'є та вейвлет-аналізу. Використано програмний комплекс Matlab Simulink.

Практичне значення роботи. Отримані результати можуть бути використані для удосконалення діючих в Україні методів визначення якісних характеристик електроспоживання та гармонічного аналізу.

РОЗДІЛ 1

РОЗОСЕРЕДЖЕНА ГЕНЕРАЦІЯ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

1.1 Джерела розосередженої генерації електричної енергії

Сьогодні електроенергетика переживає кардинальну трансформацію, основними стимулюючими факторами якої є технологічні новації, що зумовлюють можливості для переходу до принципово нового етапу розвитку. В останні роки відбулися зміни, які змусили переглянути вимоги до об'єктів генерації, до мережевої інфраструктури і в цілому до організації електроенергетики і електроенергетичних ринків.

Наростаючий знос електроенергетичної інфраструктури, залучення розподілених енергетичних ресурсів (в т. ч. відновлюваних), зміна ролі традиційних джерел енергії і енергоносіїв, зростання попиту на електроенергію і трансформація його якісних характеристик, зміна моделі поведінки споживачів - все це вимагає вивчення факторів поширення нових технологій в електроенергетиці для переходу до наступного енергетичного укладу.

Загальносвітовою тенденцією стає поступова відмова від централізованого енергопостачання. Так, по всьому світу вже 12,5% великих виробників користуються власними генеруючими джерелами. Абсолютним лідером є Данія, де вже більше половини виробництв перейшли на власні джерела.

Згідно з Енергетичною стратегією України до 2020 року заплановано досягнути частки відновлювальних джерел електроенергії у кінцевому споживанні

в 11%. Тенденція проглядається на рівні великих споживачів, які один за одним відмовляються від електроенергії, одержуваної з єдиної енергетичної системи (ЄЕС), на користь встановлення власної малої (розподіленої) генерації. Розподілена енергетика (мала енергетика, мала розподілена енергетика) - концепція розвитку енергетики, що передбачає будівництво споживачами електричної енергії джерел енергії компактних розмірів або мобільної конструкції і розподільних мереж, які виробляють теплову та електричну енергію для власних потреб, а також напрямних надлишків в загальну мережу (електричну або теплову).

Дана концепція має на увазі будівництво додаткових джерел електроенергії в безпосередній близькості від споживачів. Потужність таких джерел вибирається, виходячи з очікуваної потужності споживача з урахуванням наявних обмежень (технологічних, правових, екологічних тощо) і може варіюватися в широких межах (від двох-трьох до сотень кіловат). При цьому споживач не відключається від загальної мережі електропостачання.

Можна виділити наступні технології розподіленої малої енергетики, при цьому в системі «споживач - місцеве джерело енергії» регулярно виникають дисбаланси між виробництвом і споживанням енергії або між потребою в її видах, наприклад:

- потужність сонячних батарей і вітрогенераторів змінюється в залежності від погодних умов, а споживання електроенергії від погоди може надаватися незалежно або змінюватися в протилежну сторону;
- у зимовий час споживання теплової енергії залишається постійно високим, а споживання електроенергії змінюється за часом доби.

Наявність підключення до загальної електричної мережі дозволяє компенсувати недолік електроенергії за рахунок її споживання від загальної мережі, а в разі надмірного виробництва електроенергії власним джерелом - видавати її в мережу, з отриманням відповідного доходу. Такий підхід дозволяє:

- знизити втрати електроенергії при транспортуванні через максимального наближення електрогенераторів до споживачів електрики, аж до

розташування їх в одній будівлі;

- зменшити число, протяжність і необхідну пропускну здатність магістральних ліній електропередачі;
- пом'якшити наслідки аварій на центральних електростанціях і головних лініях електропередачі за рахунок наявності власних джерел енергії;
- забезпечити взаємне багаторазове резервування електрогенеруючих потужностей (частково);
- знизити вплив на навколишнє середовище за рахунок застосування засобів альтернативної енергетики;
- брати участь в управлінні попиту на електроенергію.

Повна відмова від потужних центральних електростанцій і остаточна децентралізація електрогенерації в даний час неможлива як з економічних міркувань, так і в зв'язку зі складністю управління безліччю об'єктів і їх технічного обслуговування, необхідністю постійної підтримки балансу генерації і споживання, необхідністю наявності резервних потужностей.

Відповідно, споживачі, підключені до ЄЕС на низькому рівні напруги (малі і середні підприємства), змушені нести додаткові витрати, пов'язані з функціонуванням ЄЕС, і терплять зниження ефективності в зв'язку з ростом ціни електроенергії.

Фокусування виробництва енергії, головним чином, на викопних джерелах, зокрема, зростаюче значення вугілля, таїть у собі загрозу того, що у поєднанні з економічним зростанням і підвищенням попиту на енергоносії буде спостерігатися повторне збільшення викидів парникових газів. Тим самим, тривалий період використання новостворених викопних генеруючих потужностей призведе до залежності від вибраного шляху і визначить баланс викидів аж до середини цього століття. Внаслідок цього Україна була б погано підготовлена до можливих майбутніх зобов'язань щодо захисту клімату, які, зокрема, видаються вірогідними у разі подальшої європейської інтеграції енергоринків. Це створює мікроекономічні стимули для ефективнішого використання енергії та покращення рамкових умов для розвитку відновлюваних джерел енергії. Важливою

особливістю України є дуже тісний зв'язок між державою і приватним капіталом. З одного боку, цей зв'язок полегшує реалізацію організованих на засадах приватної економіки крупних проектів, тому що їх можна здійснювати за принципом "зверху-вниз" («*top-down*»). Цестосується також сфери відновлюваних джерел енергії. Проте, з іншого боку, цей підхід знижує довіру іноземних інвесторів до структур політичного підпорядкування і гальмує активність саме середніх підприємств. Німецький досвід засвідчує, що сектор використання відновлюваних джерел енергії тримається на приватних компаніях – і в першу чергу на середніх підприємствах.

За останні роки процесу демократизації в Україні сформувалися певні сили громадянського суспільства, які поряд з активною позицією щодо екології та захисту клімату вимагають також ширшого використання відновлюваних джерел енергії. Разом із строгими авторитарними підходами у енергетичній політиці України це викликало появу нових інструментів сприяння, зокрема, і для альтернативних джерел енергії, як, наприклад, закон про "зелений тариф". Цей закон, аналогічно до німецького закону про відновлювані джерела енергії, тимчасово стимулюватиме виробництво енергії з відновлюваних джерел.

Розвиток сектору відновлюваних джерел енергії в Україні буде зумовлюватися низкою загальних політичних та економічних чинників, які впливають на інвестиційний клімат і стосуються економічного процвітання загалом. Значною мірою це стабільна, орієнтована на сталий розвиток і зростаючий добробут законодавча влада, ефективна виконавча влада, що заслуговує на довіру, та судова влада, яка забезпечує правову надійність.

Окрім цих загальних вимог можна зробити такі рекомендації щодо ефективного з точки зору економіки використання в Україні потенціалу відновлюваних джерел енергії, як того, що розвивається, так і того, що вже існує. По-перше, варто порекомендувати, щоб були сформульовані чіткі цілі стосовно використання відновлюваних джерел енергії та траєкторії їх розвитку, які стали б інтегральною складовою національної енергетичної стратегії. Лише за допомогою довгострокового планування потужностей для задоволення попиту на

електроенергію і тепло, оснований на реалістичних прогнозах споживання, можна забезпечити макроекономічно ефективно та мікроекономічно здійснити постачання. Для цього необхідно шляхом розрахунків визначити технічний і зумовлений ним економічний потенціал окремих видів генерації. Сприяючи формуванню громадської екологічної свідомості через просвітництво і професійну підготовку необхідно підвищувати рівень визнання відновлюваних джерел енергії серед населення. Вищі ціни на генерацію енергії із відновлюваних джерел вимагають громадської легітимації. Подальше поступове підвищення цін на електроенергію і тепло допоможе знизити рівень споживання і тим самим зменшити обсяг необхідних інвестицій у генеруючий сектор. Позитивний ефект щодо підтримки фінансування проектів із створення потужностей відновлюваної енергетики та стимулювання швидкого розвитку ринку можуть мати іноземні приватні інвестиції. Однак для цього варто порекомендувати скоротити кількість діючих регуляторних норм та упорядкувати систему адміністрування у сфері енергетичної політики, що означатиме для потенційних іноземних інвесторів полегшення входу в цей бізнес та спрощення інвестиційної діяльності. Звідси випливає рекомендація щодо спрощеного і прозорішого ліцензування. Поряд з цим усунення існуючих наразі бар'єрів у фінансуванні, зумовлених високими кредитними відсотками, можуть посприяти державні гарантії. Для фінансування екологічних і кліматозахисних проектів було б на короткострокову перспективу доцільно активніше використовувати національний капітал, накопичений завдяки продажу емісійних сертифікатів, оскільки це допомогло б швидшому проникненню на ринок відновлюваних джерел енергії.

До розподіленої генерації (РГ) відносять не тільки власне генерацію, а й системи розподіленого зберігання електроенергії (*DESS*), програми незалежно від вартості зниження споживання, заходи по підвищенню енергоефективності споживачів, мікрогриди і електромобілі. Наприклад, сьогодні в США більшу частину встановленої потужності розподілених енергоресурсів становить не генерація, а незалежно від ціни зниження споживання і заходи по підвищенню енергоефективності.

Тільки програми різних енергокомпаній з метою знизити споживання електроенергії в години найбільшого попиту здатні скоротити пікове споживання (відповідно, і потреба в додаткових блоках і мережевої інфраструктури) на 5-6%, або на кілька десятків гігават. Наприклад, компанія ConEdison заощадила понад 1 млрд дол. інвестицій, які повинні були піти на розширення мережевої інфраструктури в кількох районах Нью-Йорка.

Замість цього компанія запустила масштабну програму щодо зниження навантаження на 52 МВт в пікові години, її реалізація обійшлася в 200 млн дол. За допомогою аукціонів в програмі відібрали багато різних заходів - від заміни лампочок на більш ефективні до установки накопичувачів електроенергії у споживачів і агрегованого управління цим обладнанням.

У більш вузькому сенсі розподілена генерація тлумачиться як будівництво і експлуатація джерел електричної (теплової) енергії споживачами для власних потреб. Надлишки електроенергії направляються в загальну мережу.

До об'єктів розподіленої генерації відносять енергоджерела малої потужності, до 25 МВт. До розподіленої генерації також віднесені об'єкти когенерації (спільне виробництво електроенергії і тепла), а також системи поновлюваних джерел енергії. Так, до малої енергетики віднесено об'єкти потужністю менше 25 МВт, до мікроенергетики, за різними джерелами, менше 1 МВт.

Отже, розподілена генерація має на увазі вироблення електроенергії за місцем її споживання безліччю споживачів, які виробляють теплову та електричну енергію для власних потреб, а надлишки направляють в загальну мережу.

У широкому сенсі це об'єкти, які знаходяться поблизу кінцевого споживання, незалежно від того, хто є їх власником. До даної категорії відносять:

- блок-станції - джерело електричної (іноді теплової) енергії, розташований на території або в безпосередній близькості від промислового підприємства і належить власникам цього підприємства на правах власності або взятий в оренду. Блок-станції, як правило, вигідні, оскільки можуть функціонувати за рахунок побічних продуктів основного виробництва (попутний

або доменний газі тощо).

- теплоелектроцентралі (ТЕЦ) – комбіноване виробництво електроенергії і тепла, що підвищує коефіцієнт використання палива (КВП) в середньому на 30%. Завдяки цьому істотні витрати і незручності при спорудженні та експлуатації тепломереж стають прийнятними. Це одна з причин, за якими когенерація широко пропагується і заохочується зараз на Заході Європи.

Джерела конкурентних переваг розподіленої генерації. Розподілена генерація має ряд переваг за сукупністю показників надійності, якості і вартостів порівнянні з поставками з розподільної мережі (останні залишаються запасним варіантом).

Розподіленість джерел енергопостачання є важливим фактором підвищення енергетичної безпеки, оскільки знижує ризики і дозволяє більш швидко відновлювати енергопостачання споживачів, наприклад після природних катаклізмів, катастроф або кібератак.

Розвиток виробничих потужностей і сфер застосування розподіленої енергетики стимулює розвиток технологій управління, обладнання та сервісу, що забезпечують їх максимально ефективно використання в контурі енергосистеми і на енергетичному ринку, створює технологічну основу для появи масових активних споживачів і можливості для виходу на масштабний глобальний ринок. Конкурентні переваги виділені в трьох сферах: економіка (наприклад, обмеження компаніях) і екологія (розподілена генерація служить скороченню викидів парникових газів і запобігання зміни клімату).

Фактори застосування технологій розподіленої генерації. Компанії будуть будувати і використовувати власні джерела генерації, коли усвідомлюють вигоди їх застосування і будуть готові до їх впровадження. Відповідно, важливо вивчити прийнятність технологій розподіленої генерації і їх сприйняття з боку промислових підприємств.

Факторам сприйняття нових технологій промисловими компаніями присвячено не так багато досліджень.

В таблиці 1.1 наведено бар'єри розвитку розподіленої генерації.

Таблиця 1.1- Бар'єри розвитку розподіленої генерації

Домінування традиційної моделі організації галузі	Рішення в області енергетики засновані на моделі централізованого виробництва електроенергії з використанням мережі передачі і розподілу для поставки електроенергії споживачам
	Інституційна структура, правила і норми, вимоги до монтажу та технічні стандарти створюють більш сприятливі умови для централізованого виробництва електроенергії, ніж для розподіленої генерації
	Історично витрати на електроенергію були значно меншими в порівнянні з іншими витратами, ніж в даний час, розвиток альтернативних джерел не отримувало стимулу
	Проблеми навколишнього середовища надали імпульс розвитку генеруючих об'єктів різної потужності на основі відновлювальних джерел електроенергії, проте не забезпечили створення фінансових стимулів
Визначення потенційних можливостей розподіленої генерації	Інформація про можливості використання альтернативних джерел енергії обмежено доступна для побутових споживачів
	Норми та рекомендації процедури сертифікації постачальників не узгоджені, і їх реалізація ускладнена
	Проблеми, пов'язані з нормами технічними аспектами і потужністю регулювання,
	Підключення розподіленої генерації викликає складності, незважаючи на наявність норм регулювання
	Мікроустановки розподіленої генерації потребують високих витрат на монтаж
Рентабельність розподіленої генерації	Отримання дозволів на використання ресурсів і будівництво систем розподіленої генерації вимагає значних витрат часу і коштів, для об'єктів малої генерації вимоги істотно завищені
	Вартість електроенергії від установок розподіленої генерації може бути більш високою в порівнянні з цінами на електроенергію, що поставляється з мережі
	Застосування нової технології може бути пов'язано з додатковими витратами і ризиком
	Енергозбутові компанії рідко готові купувати надлишкову електроенергію, вироблену мікроустановками розподіленої генерації
	Термін окупності систем розподіленої генерації занадто великий для побутових споживачів
Отримання інвестицій в розподільні мережі	Розподільні компанії можуть не мати достатніх стимулів для інвестування на підтримку розподіленої генерації

На сприйняття нових технологій також впливають специфічні характеристики, до яких віднесено швидкість, надійність, задоволення від використання, контроль процесу використання, ризик використання.

1.2 Показники якості електричної енергії

Контроль якості електричної енергії має на увазі оцінку відповідності показників встановленим нормам, а подальший аналіз якості електроенергії - визначення сторони винною в погіршенні цих показників. Енергоефективність безпосередньо залежить від якості електроенергії.

Характеристики електричної енергії схильні до змін через зміни навантаження, впливу кондуктивних електромагнітних завад, що створюються окремими видами обладнання, і виникнення несправностей, що викликаються, головним чином, зовнішніми подіями. В результаті виникають зміни і відхилення характеристик в часі в будь-якої окремої точці передачі електричної енергії користувачеві.

У вимогах до якості електричної енергії, вказуються технічно допустимі межі відхилень значень від номінальних параметрів. У нас в країні перший державний стандарт на якість електроенергії був прийнятий в 1996 році (ДСТУ 3466-96), який набув чинності з 1998 року. На даний час діє новий стандарт, який був прийнятий в 2014 році та набув чинності в цьому ж році (ДСТУ:EN 50160-2014).

Основні і додаткові показники якості електроенергії.

ДСТУ:EN 50160-2014 встановлює показники і норми якості електричної енергії (ЯЕЕ) в електричних мережах систем електропостачання загального призначення змінного трифазного і однофазного струму частотою 50 Гц в точках, до яких приєднуються електричні мережі, що перебувають у власності різних споживачів, або приймачі електричної енергії (точки загального приєднання - ТЗП).

Цей стандарт встановлює 11 основних показників якості електроенергії (ПЯЕ):

- відхилення частоти δf ;
- усталене відхилення напруги δU ;
- розмах зміни напруги δU ;
- дозу флікера (мерехтіння або коливання) Pt ;
- коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги KU ;
- коефіцієнт n -ї гармонійної складової напруги $KU(n)$;
- коефіцієнт несиметрії напруг за зворотною послідовністю K_2U ;
- коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю K_0U ;
- глибину і тривалість провалу напруги $\delta Un, \Delta tn$;
- імпульсна напруга U_{imp} ;
- коефіцієнт тимчасової перенапруги $K_{пер}U$.

При визначенні значень деяких показників ПЯЕ використовують такі допоміжні параметри електричної енергії:

- частоту повторення змін напруги $F_\delta U_i$;
- інтервал між змінами напруги $\Delta t_i, t_i + 1$;
- глибину провалу напруги δUn ;
- частота появи провалів напруги F_n ;
- тривалість імпульсу за рівнем 0,5 його амплітуди $\Delta t_{imp0,5}$;
- тривалість тимчасової перенапруги $\Delta t_{пер} U$.

Встановлено два види норм ПЯЕ: нормально допусто (норм.) і гранично допустимі (гран.).

Принцип нормування ПЯЕ показано на рисунку 1.1 [7].



Рисунок 1.1 – Нормування ПЯЕ

Відхилення частоти і причини його виникнення. Відхилення частоти в електричній системі, Гц, характеризує різницю між дійсним і номінальним значеннями частоти змінного струму в системі електропостачання і визначається за виразом(ДСТУ:EN 50160-20140):

$$\delta f = f - f_{\text{ном}} , \quad (1.1)$$

де f – дійсне значення частоти змінного струму в системі електропостачання, Гц
Допустимі норми щодо відхилення частоти складають згідно[14]:

$$\delta f_{\text{норм}} = \pm 0,2 \text{ Гц}, \quad (1.2)$$

$$\delta f_{\text{доп}} \pm 0,4 \text{ Гц}, \quad (1.3)$$

де $f_{\text{норм}}$ – норма щодо відхилення частоти, Гц, де $f_{\text{доп}}$ – допустиме відхилення частоти, Гц.

Частота змінного струму в електричній системі визначається швидкістю обертання генераторів електростанцій. Номінальне значення частоти в ЄЕС

України 50 Гц в електричній системі може бути забезпечено за умови наявності резерву активної потужності. У кожен момент часу в електричній системі має бути забезпечено рівність (баланс) між потужністю генераторів електростанцій і потужністю, споживаною навантаженням з урахуванням втрат потужності на передачу в електричній мережі. Введення резервної потужності можливо в системі за рахунок додаткової витрати енергоносія турбін електростанцій.

Відхилення напруги. Відхилення напруги характеризується показником усталеного відхилення поточного значення напруги U від номінального значення $U_{ном}$ згідно ДСТУ:EN 50160-20140:

$$\delta U_y = \frac{U - U_{ном}}{U_{ном}} 100\% \quad (1.4)$$

Відхилення напруги обумовлено зміною втрат напруги, що викликаються зміною потужностей навантажень. Відхилення напруги нормується на виводах приймачів електричної енергії:

$$\delta U_{y.норм} = \pm 5\%, \quad (1.5)$$

$$\delta U_{y.доп} = \pm 10\%. \quad (1.6)$$

де $U_{y.норм}$ – номінальне усталене значення відхилення напруги, В

Коливання напруги. Одним із засобів вимірювання коливань напруги (КН) є флікерметр, призначений для вимірювання дози флікера (P_f). Згідно [1], доза флікера – міра сприйнятливості людини до дії флікера за встановлений проміжок часу. За допомогою флікерметра доза флікера визначається експериментально. Структурна схема флікерметра приведена на рисунку 1.2.

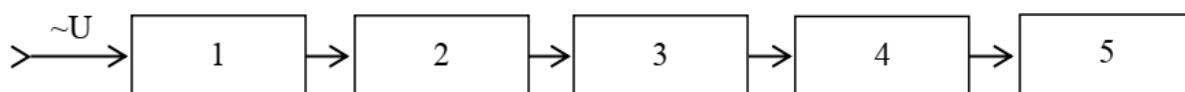


Рисунок 1.2 - Структурна схема флікерметра [7]

Флікерметр складається з двонапівперіодного випрямляча 1, фільтру 2 з певною амплітудно-частотною характеристикою, відповідною АЧХ зорового аналізатора, підсилювача 3, квадратора 4 і інтегратора 5. Інтеграція здійснюється за 1 хвилину. У основу роботи цього приладу покладено визначення співвідношення еквівалентності між амплітудою КН з частотою f і амплітудою модульованого КН з частотою 10 Гц. Результати фіксуються стрілочним приладом або на стрічці самописця. По отриманих гістограмах однохвилинних доз флікера будується графік їх зміни протягом часу вимірів. Середній нахил його не повинен перевищувати $(0,1\%)^2$ /хв.

Коливання напруги характеризуються розмахом зміни напруги $\delta U_{1,}$, частотою повторення змін напруги $F_{\delta U_t}$, інтервалом між змінами напруги $\Delta t_i, t_{i+1}$, дозою флікера P_t .

Джерелами коливань напруги є споживачі електроенергії з швидкозмінним графіком споживання потужності (особливо реактивної). До них відносяться: дугові сталеплавильні печі, електрозварювання, поршневі компресори і ряд інших. При різкому зростанні навантаження відбувається різке збільшення втрат напруги в гілках мережі, які живлять це навантаження. В результаті різко зменшується напруга на приймальному вузлі гілки. При різкому зменшенні навантаження відбувається зменшення втрат напруги і, отже, збільшення напруги на приймальному вузлі гілки.

В електричних мережах розповсюдження коливань напруги відбувається в напрямку до шин низької напруги практично без загасання, а до шин високої напруги - з загасанням по амплітуді. Цей ефект проявляється в залежності від потужності короткого замикання. При поширенні коливань напруги в будь-якому напрямку їх частотний спектр зберігається. Розмах зміни напруги - різниця між наступними один за одним діючих значень напруги будь-якої форми. Між наступними один за одним максимальним і мінімальним значеннями обвідної діючих значень напруги, що огинає діючих (середньоквадратичних) значень напруги - ступінчаста тимчасова функція, утворена діючими значеннями напруги, визначеними на кожному напівперіоді напруги основної частоти.

Якщо огинання діючих значень напруги має горизонтальні ділянки (при спокійному графіку навантаження), то розмах зміни напруги визначається як різниця між сусідніми екстремумів (максимумом або мінімумом) і горизонтальною ділянкою або як різниця між сусідніми горизонтальними ділянками:

$$\delta U_t = U_{\max} - U_{\min} \quad (1.7)$$

$$\delta U_t = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\text{норм}}} 100\% \quad (1.8)$$

Тривалість зміни напруги - інтервал часу від початку одиночної зміни напруги до його кінцевого значення (рисунку 1.3).

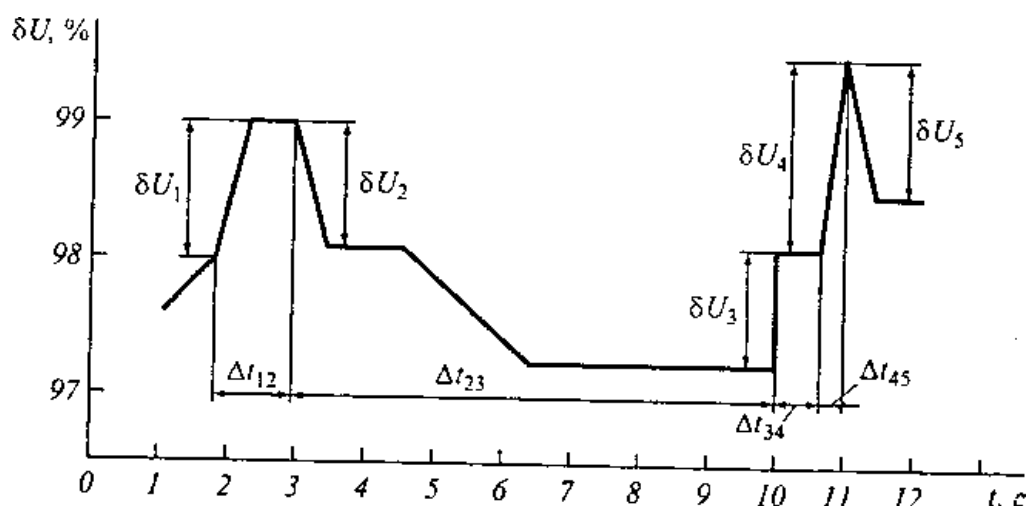


Рисунок 1.3 - Коливання напруги (п'ять розмахів змін напруги) [7]

Флікер (мерехтіння) - суб'єктивне сприйняття людиною коливань світлового потоку штучних джерел освітлення, викликаних коливаннями напруги в електричній мережі, яка живить ці джерела.

Інтегральна характеристика коливань напруги, що викликають у людини накопичується за встановлений період часу роздратування мерехтіннями (миготіння) світлового потоку.

Дозу флікера напруги в процентах в квадраті обчислюють за виразом:

$$P_t = \frac{1}{T_{\text{осп}}} \int \sum g_f^2 \int \delta U_f^2 dt \quad (1.9)$$

Час сприйняття флікера - мінімальний час для суб'єктивного сприйняття людиною флікера, викликаного коливаннями напруги.

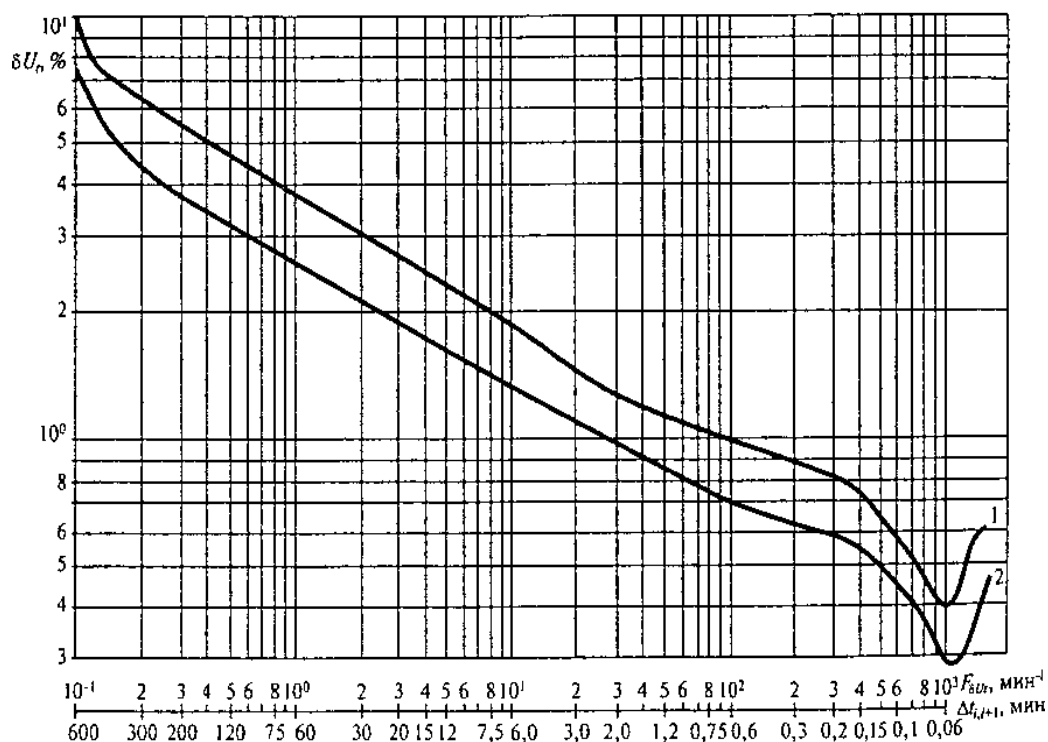


Рисунок 1.4 - Залежності частоти допустимих змін напруги від частоти їх появи [7]

Гранично допустимі значення розмаху зміни напруги в точках загального приєднання до електричних мереж в залежності від частоти повторення змін напруги $F_{\delta U_n}$, або інтервалу між змінами напруги дорівнюють значенням, визначеним за кривими рисунку 1.4. Крива 1 - для споживачів електричної енергії, які мають лампами розжарювання. Крива 2 - в приміщеннях, де потрібна значна зорова напруга. Перелік приміщень з розрядами робіт, що вимагають значного

зорового напруги, встановлюють у нормативних документах, що затверджуються в установленому порядку.

Гранично допустиме значення суми усталеного відхилення напруги δU_y і розмаху змін напруги δU_b , в точках приєднання до електричних мереж напругою 0,38 кВ рівно $\pm 10\%$ від номінальної напруги [14].

Гранично допустиме значення для короткочасної дози флікера (P_{St}) при коливаннях напруги дорівнює 1,38, а для тривалої дози флікера (P_{Lt}) при тих же коливаннях напруги дорівнює 1,0 [14].

Короткочасну дозу флікера визначають на інтервалі часу спостереження, що дорівнює 10 хв. Тривалу дозу флікера визначають на інтервалі часу спостереження, що дорівнює 2 години [14].

Гранично допустиме значення для короткочасної дози флікера P_t в точках загального приєднання споживачів електричної енергії, які мають лампами розжарювання в приміщеннях, де потрібна значна зорова напруга, так само 1,0, а для тривалої дози флікера P_t в цих же точках - 0,74.

Несинусоїдальність напруги. Несинусоїдальність напруги з'являється тому, що в кривій напруги, крім гармоніки основної частоти, мають місце гармоніки інших вищих частот, кратних основній частоті ($n = 2, 3, 4, \dots$, і т.д.). Гармоніки зазвичай визначаються розкладанням кривої фактичного напруги в ряд Фур'є. Причиною виникнення несинусоїдальності напруги є наявність споживачів електроенергії з нелінійною вольтамперною характеристикою. Основний внесок в несинусоїдальність напруги вносять тиристорні перетворювачі електричної енергії, що набули широкого поширення в промисловості [17].

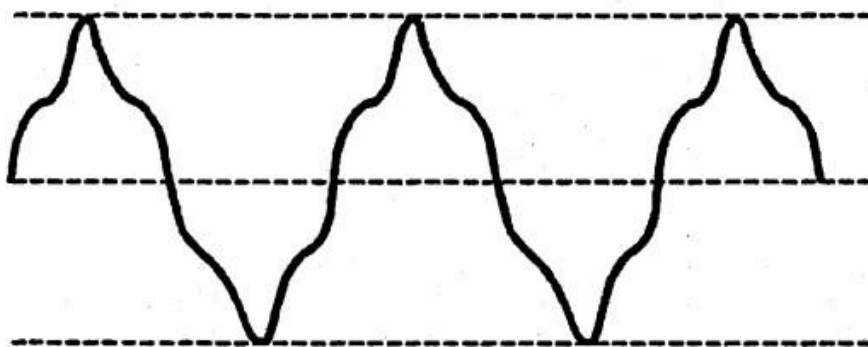


Рисунок 1.5 – Несинусоїдальність напруги [7]

Несинусоїдальність напруги характеризується наступними показниками:

- коефіцієнтом спотворення синусоїдальності кривої напруги;
- коефіцієнтом n -ої гармонійної складової напруги.

Коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги K_u , %, є відношенням сумарного діючого значення всіх вищих гармонік до діючого значення напруги основної гармоніки, причому $n \geq 2$ [13]:

$$K_u = \frac{\sqrt{\sum U_{(n)}^2}}{U_{ном}} 100. \quad (1.10)$$

Висновок.

Досвід проектування і експлуатації електричних мереж показує, що заходи по виключенню і зниженню впливу електричних мереж на показники якості електроенергії можуть бути досить дорогими. Підтримка оптимального рівня напруги на затискачах кожного приймача електроенергії (ПЕ) в загальному випадку недоцільно і, в першу чергу, з економічних міркувань. Оскільки ПЕ можуть мати неоднакові режими роботи і знаходяться електрично на різній відстані від джерел живлення, то для підтримки оптимального значення напруги на затискачах кожного з них необхідно забезпечити їх індивідуальними регуляторами напруги. Очевидно, що це занадто дорого.

Більш вигідним є групове регулювання напруги, коли загальнорегулюючий пристрій встановлюється для групи приймачів електроенергії. При цьому, природно, номінальну напругу буде підтримуватися лише у деяких з приймачів електроенергії, тоді як у інших напруга може відхилитися від номінального в більшу або меншу сторону.

Через це в якійсь мірі можуть погіршуватися технічні параметри виробничих установок, негативно впливаючи на їх економічність. Однак економія від заміни індивідуального регулювання напруги правильно обраним груповим, як правило, перекидає відповідне зниження економічності виробництва.

На етапі проектування мережі при нормальних режимах її роботи необхідно розраховувати показники якості електроенергії (ПЯЕ) і вибирати найбільш економічні засоби приведення параметрів режимів до допустимих меж (нормам). В умовах експлуатації в електричній мережі повинен здійснюватися систематичний контроль за ПЯЕ і відповідно вживання заходів щодо приведення параметрів згідно допустимим нормам.

1.3 Вплив впровадження джерел розосередженої генерації на роботу систем електропостачання

Як відомо, впровадження джерел розосередженої генерації характеризується різким збільшенням силових електронних систем, що приводить до погіршення якості електричної енергії. Причинами такого погіршення, наряду із впровадженням джерел розосередженої генерації (генерація в електричну мережу гармонік, інтер- та субгармонік), є також наявність у споживачів потужних нелінійних, несиметричних навантажень із різко-змінним режимом роботи. До таких навантажень відносяться дугові електро-сталеплавильні печі, потужні прокатні станки, електрозварні пристрої та інше.

Дані навантаження негативно впливають на якість електричної енергії систем електропостачання, до яких вони підключені. Це обумовлено тим, що характер споживання ними активних і реактивних потужностей відповідає їх різко-змінним, повторно-короткочасним режимам роботи, що призводить до коливань напруги та флікеру. Коливання напруги, у свою чергу, призводить до модуляції у часі амплітуд і фаз складових струму як основної, так і вищих гармонік, які генеруються у електричну мережу.

У зв'язку з цим у роботі розглядається вплив на якість електричної енергії (доза флікера) гармонік, інтергармонік та субгармонік, які генерують у електричну мережу розосереджені джерела енергії. В якості останніх були досліджені: сонячна електростанція, дизель-генератор, вітроелектростанція та мала гідроелектростанція.

Впровадження локального джерела живлення (ЛДЖ) або накопичувача на стороні споживача супроводжується значним техніко-економічним ефектом, що обумовлює як мотивацію до застосування даних технологій, так і необхідність забезпечення функціонування системи електропостачання шляхом реалізації технічних і технологічних заходів. Технічні ефекти підключення пов'язані як з безпосереднім додаванням додаткового джерела активної і реактивної потужності, так і з його режимом роботи і топологією реорганізованої системи електропостачання.

Розглядаючи паралельний режим роботи РГ з централізованою енергетичною системою (ЦЕС), до уваги приймаються як «зовнішні» аспекти впровадження, пов'язані з параметрами системи зовнішнього електропостачання і роботою системного оператора, так і «внутрішні» аспекти, пов'язані з характеристиками і параметрами систем внутрішнього електропостачання і електрогосподарств споживачів.

Мінімізація втрат досягається за рахунок розташування джерел активної і реактивної енергії в безпосередній близькості від споживачів, і, як наслідок, зменшення перетоків потужності по протяжним лініям електропередачі від централізованих генеруючих станцій. Здебільшого, розподілені генератори працюють в індуктивному режимі з коефіцієнтом потужності 0,8-1,0; однак при застосуванні синхронних генераторів і інвертерів можлива робота в ємнісному режимі. Тоді принцип вибору розташування РГ для зниження втрат електроенергії аналогічний принципам розташування пристроїв компенсації реактивної потужності.

Вплив РГ на характеристики напруги і його регулювання.

Підключення РГ може впливати на характеристики напруги в СЕС за рахунок ряду причин, пов'язаних як безпосередньо з самими енергоблоками, такі з особливостями їх паралельної роботи з системою, координацією і синхронізацією параметрів при проектуванні і включенні.

Паралельна робота енергоблоків з СЕС передбачає направлення перетоків потужності як в сторону навантаження, так і в бік енергосистеми. При

однонаправленому потоці регулювання напруги здійснюється декількома способами: за допомогою регулювання перемиканням відпайок трансформаторів (під навантаженням або без збудження) і автотрансформаторів; з допомогою вольтододаткових трансформаторів і лінійних регуляторів; з допомогою регулювання параметрів СЕС (живильної мережі); за допомогою регулювання величини виробленої реактивної потужності.

Джерело живлення РГ, підключений до силового трансформатора, який живить деяку навантаження, може підняти рівень напруги на вторинній стороні, що призведе до перенапруження у електроприймачів. Це відбувається, якщо силовий трансформатор підключений до мережі в точці з рівнем напруги вище фіксованого нормативного або близьким до нього. З огляду на підключення додаткового джерела і зниження втрат, при відсутності компенсує модифікації параметрів існуючої СЕС, відбувається зміна балансу реактивної потужності, в результаті чого в поточних умовах і для заданих параметрів мережі рівень напруги буде підвищуватися.

Основну частку малопотужних енергоблоків РГ становлять установки, які підключаються до розподільної мережі за допомогою інверторів, забезпечують регулювання параметрів РГ в ТОС. Зокрема, до таких енергоблоків відносяться генератори на ВДЕ, мікротурбінні установки. Виділяються три стратегії інверторного регулювання.

Велика частина інверторних установок є джерелами струму, що працюють при одиничному коефіцієнті потужності. Енергоблоки з такою стратегією регулювання є тільки джерелами активної потужності і не надають позитивного впливу на регулювання напруги в мережі. При застосуванні інверторів напруги можливі два варіанти. По-перше, установка може виробляти реактивну потужність, обмежену підтримкою встановленого коефіцієнта потужності і максимального рівня виробленої повної потужності. По-друге, може забезпечуватися допустимий рівень напруги на виході РГ. В останньому випадку можливості регулювання обмежені максимальною виробленою реактивною потужністю. Вплив способу регулювання РГ також відзначено: при незалежному від навантаження

регулюванні параметрів енергоблоків може спостерігатися невідповідність локальних коливання навантаження і генерації, при цьому максимальні рівні напруги можуть збільшитися.

Асинхронні генератори (АГ) знаходять широке застосування в технологіях РГ (міні-ГЕС, мікротурбіни і малопотужні газопоршневі установки) в сенсі простоти і дешевизни, проте мають ряд недоліків, позначаються на параметрах напруги в розподілених СЕС. Основним з них є значне споживання реактивної потужності, яке призводить до необхідності додаткового застосування компенсуючих пристроїв з гнучким регулюванням, особливо для електропостачання споживачів з змінним графіком навантаження.

Вплив РГ на параметри якості електроенергії:

1) Несінусоїдальність напруги

Поряд з електрообладнанням споживачів, РГ може бути джерелом вищих гармонійних складових у кривій напруги. Вищі гармоніки можуть вироблятися безпосередньо в генераторі або в обладнанні силової електроніки: інверторах, випрямлячах. Інвертори використовуються для підключення багатьох РГ, заснованих на поновлюваних джерелах енергії, а також паливних елементів. Їх внесок у гармонійний склад частково обумовлений напівпровідниковими керованими вентилями (тиристорами), що видають в мережу високий рівень вищих гармонік. На сьогоднішній день, проблема вирішується використанням інверторів, побудованих на базі ЮВТ-транзисторів, що використовують широтноімпульсну модуляцію для створення «чистої» синусоїдальної кривої [20]. Оберткові генератори є іншим джерелом вищих гармонік; їх здатність виробляти гармоніки залежить від типів їх обмоток (кроку обмотки), нелінійності магнітопроводу (сердечника), заземлення та інших факторів, що впливають на поширення гармонік. Порівнюючи різні типи обмоток генераторів, можна відзначити, що найкращою конфігурацією є така з кроком $2/3$, що є найменшим виробником третьої гармоніки, часто превалює в складі. З іншого боку, обмотки з кроком $2/3$ мають менший повнийопір і можуть бути причиною більшого гармонійного струму, який протікає через інші джерела, що працюють

паралельно. Таким чином, заземлюючих пристроїв генераторів і підвищувальних трансформаторів будуть мати вирішальне значення в обмеженні поширення гармонік з фідера. Системи заземлення можна вибирати із завдань зниження частки третьої гармоніки в системі. Це призведе до її виділенню тільки на стороні РГ. Для цього завдання на практиці застосовується з'єднання обмоток трансформаторів в трикутник, для випадків бестрансформаторного підключення РГ до мережі - застосування розділових трансформаторів з обмотками «зірка/трикутик» (Y / D).

Звичайно, вплив РГ на гармонійний склад не такий великий, як в порівнянні з іншими складовими проблемами. Однак виникає ряд проблем, пов'язаних з резонансом з батареями конденсаторів або з взаємодією з обладнанням, чутливим до гармонік. У гіршому випадку, РГ доведеться відключити внаслідок перегріву обладнання струмами вищих гармонік.

Відповідно до стандарту IEEE 519-2014, а також стандарту підключення RG IEEE 1547, до розподілених генераторів застосовні наступні вимоги в ТОС (див. таблицю 1.2).

Таблиця 1.2 - Вимоги до гармонійного складу вихідного струму розподілених генераторів [21]

Номер гармоніки, h	Допустимий рівень по відношенню до першої (для непарних гармонік), %
$h \leq 11$	4
$11 \leq h < 17$	2
$17 \leq h < 23$	1,5
$23 \leq h < 35$	0,6
$h \geq 35$	0,3
Сумарний рівень гармонічного викривлення	5

Межі нелінійних викривлень кривої напруги складають 5% для сумарної несинусоїдальності і 3% для кожної окремої гармоніки.

2) Відхилення і коливання напруги.

Причиною виникнення коливань напруги при впровадженні РГ є джерела живлення з переривчастими характеристиками, до яких відносяться вітрові та фотоелектричні генеруючі установки. Коливання напруги в розподілених СЕС також є наслідком миттєвих скидів і накидів навантаження.

Провали напруги при роботі РГ можуть спостерігатися як через нерівномірності графіка вироблюваної потужності енергоблоків з відновлювальними джерелами електроенергії, так і в разі застосування установок з асинхронними двигунами, що споживають значну реактивну потужність при пуску. Як було сказано раніше, рішенням даної проблеми є підключення статичних компенсаторів з гнучким регулюванням. Ще однією причиною провалів є робота системної автоматики (АПВ, АВР) при перемиканні між централізованим і розподіленим електропостачанням. Проблема коливань напруги може бути вирішена шляхом підвищення потужністю енергоблоків, управлінням виробленням активної і реактивної потужності і активним регулюванням напруги, а також застосуванням накопичувачів енергії для поновлюваних джерел, що дозволяють згладити впливи в системі. Іншим рішенням є створення гібридних енергоблоків РГ, які суміщають, поряд з накопичувачами електричної енергії (ЕЕ), установки з поновлюваними і невідновлюваними джерелами енергії. Передбачається застосування загальної системи регулювання, використання загального перетворювача, що дозволяють забезпечувати високу якість генерується електроенергії. Припустимо також застосування екстенсивних методів, до яких відноситься розширення пропускної здатності розподільних мереж, зокрема - за рахунок заміни провідників з метою зменшення втрат, а також виділення РГ на окрему лінію для конкретного споживача.

3) Несиметрія напруги.

Значна частка малопотужних однофазних генераторів, заснованих переважно на технологіях відновлювальних джерел електроенергії (вітрових і

фотоелектричних), в розподілених СЕС є причиною несиметрії напруги.

Особливо дана ситуація актуальна для віддалених районів в пріоритеті цивільних споживачів, приватних домогосподарств.

Висновок: На закінчення можна зробити наступний висновок в тому, що максимально допустима кількість РГ, які можуть бути підключені до розподіленої мережі без шкоди до нормальної роботи, відносяться досить конкретним для кожного випадку і залежать від конкретних обставин, пов'язаних з функціями, як РГ так і мережі. Розробки в області РГ українських і зарубіжних виробників дозволяють говорити про те, що сучасні технологічні установки РГ мають досить високу ефективність і при оптимальному розміщенні в розподільній мережі не роблять негативного впливу на неї.

Висновки.

1. До РГ належать установки малої потужності (до 25 МВт), що знаходяться безпосередньо поруч з споживачем та можуть бути підключені до енергосистеми. До РГ належать об'єкти когенерації, системи відновлювальних джерел, дизельгенератори, фотоелектричні елементи.

2. Взаємна робота даних джерел електричної енергії призводить до появи гармонік, субгармонік, інтергармонік, які згенеровані розосередженими джерелами енергії та суттєво впливають на якість електричної енергії, зокрема на дозу флікера.

3. Аналіз якості електричної енергії без врахування впливу інтергармонік на рівні електромагнітної сумісності у промислових електричних мережах є новим.

4. Як показано в розділі 1 даної роботи причин виникнення інтер- та субгармонік призводить до значних змін якості електричної енергії і повинні бути вивчені їх причини появи, методи та засоби їх вимірювання, нормування та зниження рівнів. Це і досліджується в даній роботі.

РОЗДІЛ 2

ВПЛИВ НЕЛІНІЙНИХ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА НАЯВНІСТЬ ВИЩИХ ГАРМОНІК В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ

2.1 Побудова електричної мережі із наявністю джерел розосередженої генерації

Інтеграції джерел розосередженої генерації в систему електропостачання (особливо нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії), є важливим питанням ефективності використання енергетичного потенціалу таких джерел. Кожне із джерел, що виробляє електроенергію, через певні особливості своєї роботи, має проблеми сумісної роботи, внаслідок чого постає проблема оптимального відбору електроенергії від цих джерел та проблема оптимального споживання виробленої електроенергії електроустановками споживачів.

В цьому розділі за допомогою Matlab Simulink створено модель електросистеми із використанням джерела розосередженої генерації (рисунок 2.1).

Дана модель являє собою трьохфазну електроенергетичну систему, що складається з генераторів напруги, що моделюють процеси мережі та трьохфазного навантаження. На одну з фаз паралельно підключено блоки, що моделюють параметри джерел РГ (параметри нормального режиму, вищі

гармоніки), а саме сонячної електростанції, дизель-генератора, вітроелектростанції та малої гідроелектростанції. До виходу генераторів підключено вимірювальну підсистему, що дозволяє оцінити гармоніки в системі, що генеруються різними джерелами.

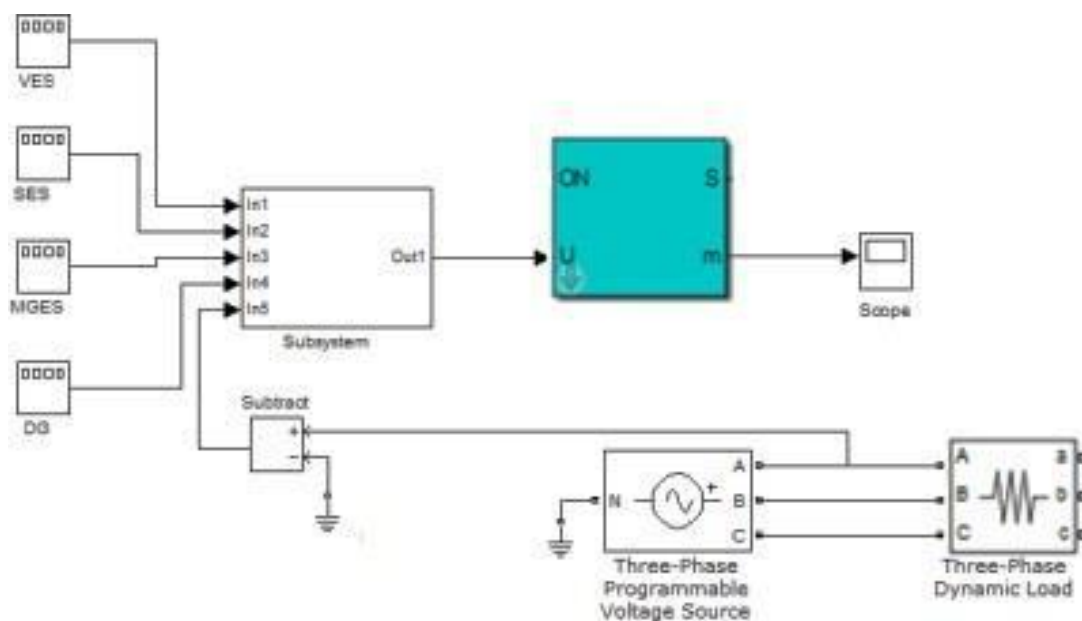


Рисунок 2.1 – Схема моделі електросистеми

Блок «Programmable voltage source» формує сигнал джерела синусоїдальної напруги з вимірами $U=220$ В, $f=50$ Гц.

Блок «Load» – навантаження $R=10$ Ом.

Блоки «DG» (дизельгенератор), «VES» (вітроелектростанція), «SES» (сонячна електростанція), «MGES» (мала ГЕС) моделюють завади, що генерують альтернативні джерела електричної енергії.

SES та VES мають синусоїдальну форму сигналу. MGES має форму square, що показано на рисунку 2.2.

DG має форму сигналу sawtooth, що показано на рисунку 2.3.

Блок «Programmable voltage source» створює ідеальну синусоїду і живить навантаження «Load». За допомогою вольтметра виконується вимірювання

напруги та в блоці Subsystem об'єднується отриманий сигнал з перешкодами, що задаються блоками DG, VES, SES, MGES і сумарний сигнал розкладається в блоці Digital Flickermeter. З флікерметра отримані дані виводяться на осцилографи.

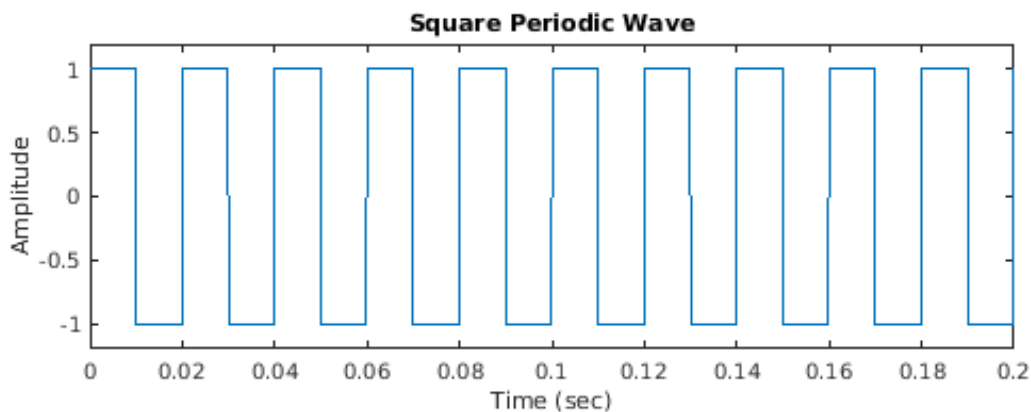


Рисунок 2.2 – Форма сигналу square

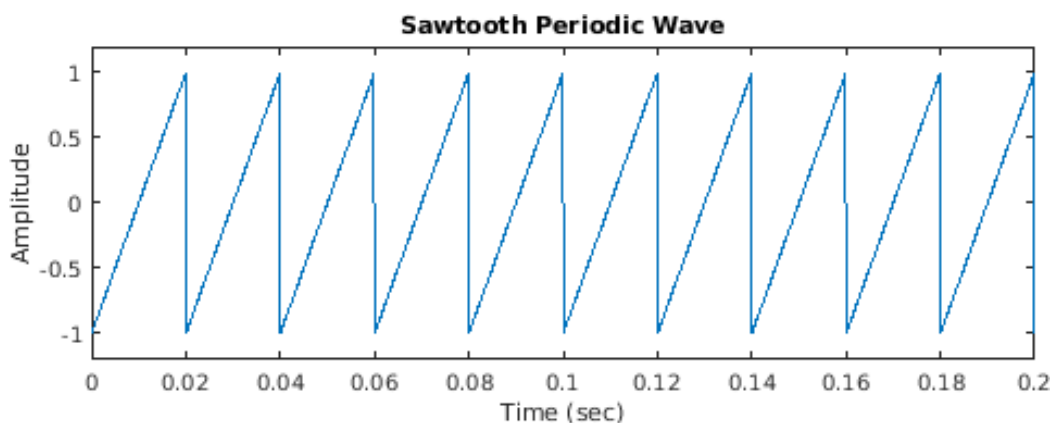


Рисунок 2.3 – Форма сигналу sawtooth

Всі схеми джерел електроенергії складаються з різних видів сигналів. Наприклад, сонячні панелі мають синусоїдальну форму сигналу та найбільший рівень завад 2,8%, вітрові установки використовуються з рівнем перешкод 10%, які по'єднані через електропривід та 2,8% через інвертор з прямокутною та синусоїдальною формою сигналу. Мала гідроелектростанція має форму сигналу меандру та 7,3% рівень завад. У роботі використовується дизель-генератор з пилкоподібним сигналом та рівнем завад 10% та мережа з відхиленням напруги

10% та випадковими сигналами.

Digital Flickermeter – модель флікерметра, що відповідає вимогам стандарту ІЕС-61000-4-15 зображена на рисунку 2.4.

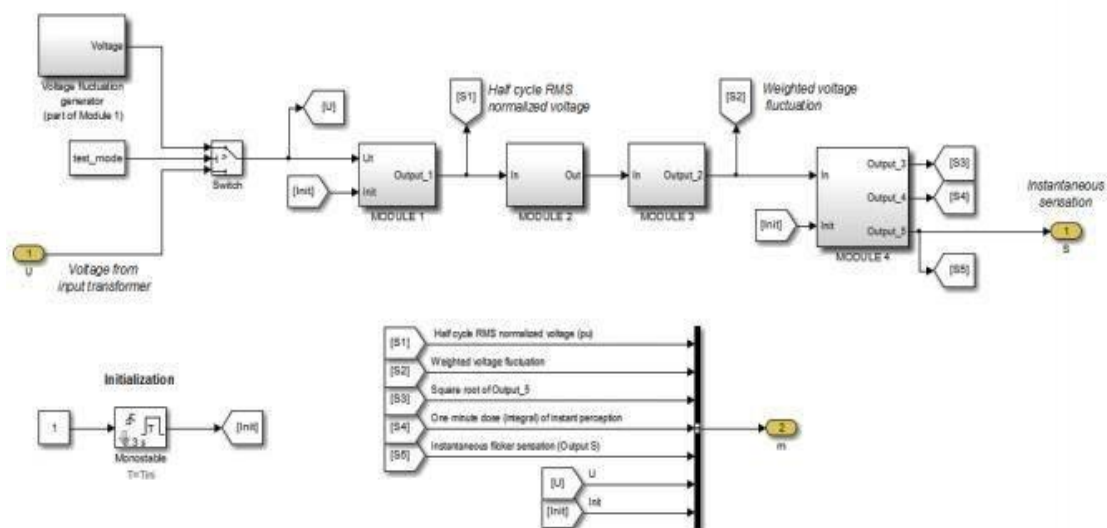


Рисунок 2.4 – Модель флікерметра

Архітектура флікерметра описується блок-схемою на рисунку 2.4 і виконує наступне завдання: моделювання реакції ланцюга «лампа-око- мозок».

Блок 1 (Module 1) це адаптер напруги. Блок 1 містить генератор сигналів для контролю калібрування флікерметра в ході використання і адаптації вхідної напруги, що доводить середньоквадратичне значення вхідної напруги основної частоти до внутрішнього опорного рівня напруги обладнання. Тобто, заміри флікера можуть бути виконані незалежно від реального рівня напруги на вході обладнання і представлені у відсотковому відношенні. Відводи на вхідному трансформаторі необхідно вибрати так, щоб отримати сигнал на вході адаптера напруги в допустимих межах.

Блок 2 (Module 2) це квадратичний демодулятор. Блок 2 призначений для відновлення коливання напруги зведенням до квадрату вхідної напруги,

змаштабованого до контрольного рівня, тобто, для відтворення характеристик лампи.

Блок 3 і 4 (Module 3 and 4) це зрівноважуючий фільтр, фільтр високих і низьких частот, квадратичний підсилювач. Блок 3 має два фільтра та селектора діапазона вимірювання, ввімкнених.

Перший фільтр усуває складові пульсації постійного струму і подвійної частоти мережі (100 Гц).

Другий фільтр є блоком, який виконує функцію урівноваження, що моделює частотну характеристику при синусоїдальній флуктуації напруги газонаповненої лампи зі спіральною розжарення (60 Вт, 230 В) в поєднанні із зоровою системою людини. Межа сприйняття людиною коливань світлового потоку відповідає частотна характеристика фільтру.

Необхідно зауважити, що контрольна лампа розжарювання для систем на 100 В матиме іншу частотну характеристику і потребує відповідного налаштування врівноважуючого фільтру. Характеристики газорозрядних ламп абсолютно різні, і суттєві зміни стандарту необхідні.

Блок 4 складається зі зведеного до квадрату множника і низькочастотного фільтру першого порядку. Сприйняття людиною флікера, зважаючи на характеристики лампи, очей і мозку, моделюється поєднанням нелінійної характеристики, що виконується блоками 2, 3 і 4.

Крім того, робота блоку 3 заснована на граничній кривій сприйняття людиною при синусоїдальних коливаннях напруги; вірне врівноваження при несинусоїдальних і стохастичних коливаннях напруги отримується шляхом вибірки комплексної передавальної функції для блоків 3 і 4. Отже, вірне функціонування приладу відбувається також при періодичних коливаннях напруги, які мають форму меандру, і при коливаннях напруги перехідного характеру.

Вихід блоку 4 створюється миттєве значення флікера.

2.2 Дослідження гармонічного складу електричної енергії, що генерується сонячним, дизель-генератором, вітровою та малою гідроелектростанцією

У даній роботі проводиться аналіз схем з різними джерелами розосередженої генерації, які мають різні сигнали завад. Розгляду підлягають фотоелектричні елементи, вітрові установки, малі ГЕС, дизель-генератори та безпосередньо мережа електроживлення.

Вхідні дані для першого досліду зображені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вхідні дані для першого дослідження

	1-ша гармоніка (50 Гц), В	3-я гармоніка (150 Гц), В	5-а гармоніка (250 Гц), В
СЕС	220	4,7 (2,1%)	2,5 (1,1%)
ДГ	220	16,3 (7,4%)	7,7 (3,5%)
ВЕС	220	12,9 (5,9%)	8,3 (3,8%)
МГЕС	220	10 (4,5%)	4,6 (2,1%)

Коментар до таблиці 2.1:

СЕС – сонячна електростанція

ДГ – дизель генератор ВЕС – вітроелектростанція

МГЕС – мала гідроелектростанція

Вказавши такі дані перешкод, що створюють альтернативні джерела електричної енергії отримано результати, які зображено в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Результати досліджень

№	Тип джерела е/е	Гармоніки	P_{st}
1	ВЕС	1+3	0,0103
2	ВЕС	1+5	0,0104
3	ВЕС	1+3+5	0,0104
4	СЕС	1+3	0,0104
5	СЕС	1+5	0,0104
6	СЕС	1+3+5	0,0104
7	МГЕС	1+3	0,0104
8	МГЕС	1+5	0,0108
9	МГЕС	1+3+5	0,0109
10	ДГ	1+3	0,0104
11	ДГ	1+5	0,0105
12	ДГ	1+3+5	0,0105

Коментар до таблиці 2.2:

№ - номер дослідження.

Характеристика - різновид альтернативних джерел електроенергії або їх поєднання.

Гармоніки - гармоніки, які створюють зазначені джерела (амплітуда приведена у таблиці 2.1).

P_{st} – короткочасна доза флікера. Висновки до досліджу 1.

За результатами досліджу1, можна зробити висновок, що вищі гармоніки значимого впливу на дозу флікера не мають.

2.3 Дослідження взаємного впливу різних джерел енергії на гармонічний склад електричної енергії на дозу флікера

Вхідні дані для другого дослідження показані у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Вхідні дані для другого досліджу

	1-ша гармоніка (50 Гц), В	3-я гармоніка (150 Гц), В	5-а гармоніка (250 Гц), В
СЕС	220	4,7 (2,1%)	2,5 (1,1%)
ДГ	220	16,3 (7,4%)	7,7 (3,5%)
ВЕС	220	12,9 (5,9%)	8,3 (3,8%)
МГЕС	220	10 (4,5%)	4,6 (2,1%)

Коментар до таблиці 2.3:

СЕС – сонячна електростанція ДГ – дизель генератор

ВЕС – вітроелектростанція

МГЕС – мала гідроелектростанція

За вказаними даними перешкод, які створюють альтернативні джерела електроенергії, отримано результати, які внесені до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати проведених досліджень

№п/п	Тип джерела e/e	Гармоніки	P_{st}
1	ВЕС+СЕС	1+3	0,0102
2	ВЕС+СЕС	1+5	0,0103
3	ВЕС+СЕС	1+3+5	0,0103
4	ВЕС+МГЕС	1+3	0,0103
5	ВЕС+МГЕС	1+5	0,0106
6	ВЕС+МГЕС	1+3+5	0,0106
7	ВЕС+ДГ	1+3	0,0103
8	ВЕС+ДГ	1+5	0,0104
9	ВЕС+ДГ	1+3+5	0,0106
10	СЕС+МГЕС	1+3	0,0103
11	СЕС+МГЕС	1+5	0,0106
12	СЕС+МГЕС	1+3+5	0,0106

Продовження таблиці 2.4			
13	СЕС+ДГ	1+3	0,0103
14	СЕС+ДГ	1+5	0,0104
15	СЕС+ДГ	1+3+5	0,0104
16	МГЕС+ДГ	1+3	0,0103
17	МГЕС+ДГ	1+5	0,0104
18	МГЕС+ДГ	1+3+5	0,0104
19	ВЕС+СЕС+МГЕС	1+3 +5	0,01032
20	ВЕС+СЕС+МГЕС	1+3+5	0,0106
21	ВЕС+СЕС+МГЕС	1+3	0,0104
22	ВЕС+СЕС+ДГ	1+5	0,0104
23	ВЕС+СЕС+ДГ	1+3+5	0,0108
24	ВЕС+СЕС+ДГ	1+3	0,0103
25	ВЕС+МГЕС+ДГ	1+5	0,0104
26	ВЕС+МГЕС+ДГ	1+3+5	0,0104
27	ВЕС+МГЕС+ДГ	1+3+5	0,0104
28	СЕС+МГЕС+ДГ	1+3	0,0103
29	СЕС+МГЕС+ДГ	1+5	0,0104
30	СЕС+МГЕС+ДГ	+3+5	0,0104
31	ВЕС+СЕС+МГЕС+ДГ	1+3	0,0102
32	ВЕС+СЕС+МГЕС+ДГ	1+5	0,0104
33	ВЕС+СЕС+МГЕС+ДГ	1+3+5	0,0104

Коментарі до таблиці 2.4:

№ - номер дослідження.

Характеристика – різновид альтернативного джерела електричної енергії або їх поєднання.

Гармоніки – гармоніки, що створюють дані джерела (їх амплітуда приведена у таблиці 1).

P_{st} – короткочасна доза флікера.

Висновки до досліджу 2

За результатами досліджу 2, можна зробити висновок, що вищі гармоніки при взаємному впливі значимого впливу на дозу флікера не мають.

2.4 Дослідження впливу на дозу флікера інтергармонічних та субгармонічних коливань

Вхідні дані для третього дослідження зображено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Вихідні дані для третього досліджу

	Частота коливань, Гц	Амплітуда коливань, В
СЕС	61	0,25
ДГ	54	0,31
ВЕС	64	0,322
МГЕС	52	0,22

Вказавши зазначені значення перешкод, які створюють альтернативні джерела електроенергії, отримано результати, які були внесені до таблиці 2.6.

Висновки: За результатами дослідження (таблиця 2.6) можна зробити висновок, що на дозу флікера мають суттєво більший вплив інтергармонічні коливання напруги. Альтернативні джерела, з вхідними даними, що приведені у таблиці 2.3, можна застосовувати з точки зору дози флікера (P_{st} не перевищує 1) отримуючи якісну електричну енергію. Результати показують, що одночасне застосування дизель-генератора та сонячної електростанції або вітроелектростанції або малої гідроелектростанції є допустимим (P_{st} не перевищує 1), а, наприклад, малої гідроелектростанції та сонячної електростанції разом з вітроелектростанцією є недопустимим (P_{st} перевищує 1).

Таблиця 2.6 - Результати проведених досліджень

№	Тип джерела е/е	P_{st}
1	СЕС	0,5233
2	ДГ	0,1936
3	ВЕС	0,5771
4	МГЕС	0,1749
5	СЕС+ДГ	0,7069
6	СЕС+ВЕС	1,0891
7	СЕС+МГЕС	0,6879
8	ДГ+ВЕС	0,7609
9	ДГ+МГЕС	0,3581
10	ВЕС+МГЕС	0,7438
11	СЕС+ДГ+ВЕС	1,2733
12	СЕС+ДГ+МГЕС	0,8709
13	СЕС+ВЕС+МГЕС	1,2587
14	ДГ+ВЕС+МГЕС	0,9281
15	СЕС+ДГ+ВЕС+МГЕС	1,4373

Таблиця 2.7 – Вихідні дані для четвертого досліджу

	Частота коливань, Гц	Амплітуда коливань, В
СЕС	39	0,2011
ДГ	25	0,65
ВЕС	34	0,317
МГЕС	28	0,337

Таблиця 2.8 – Результати проведених досліджень

	Тип джерела е/е	P_{st}
1	СЕС	0,561
2	ДГ	0,5410
3	ВЕС	0,5784
4	МГЕС	0,4052
5	СЕС+ДГ	1,0733
6	СЕС+ВЕС	1,1103
7	СЕС+МГЕС	0,9321
8	ДГ+ВЕС	1,1095
9	ДГ+МГЕС	0,9347
10	ВЕС+МГЕС	0,9743
11	СЕС+ДГ+ВЕС+МГЕС	2,0392

За результатами можна зробити висновок, що зазначені субгармонійні коливання з амплітудами не перевищують межі норми. Тобто, доза флікера менше одиниці. Проте, спільне використання джерел з зазначеними субгармонійними коливаннями дозволяється тільки в окремих випадках (якщо P_{st} менше 1).

Висновок.

Результати показують, що при певному поєднанні завод на однойменних та різнойменних гармонічних складових енергетичних процесів різнорідних типів генераторів (джерел РГ) може виникати взаємокомпенсація або взаємопідсилення тієї чи іншої гармонічної складової в навантаженнях.

РОЗДІЛ 3

ВИЗНАЧЕННЯ ГАРМОНІЧНОГО СКЛАДУ ТА СТУПЕНЮ СПОТВОРЕННЯ ФОРМИ СИГНАЛУ

3.1 Огляд алгоритмів визначення гармонічного складу та ступеню спотворення форми сигналу

Існує безліч методів аналізу форми хвилі струму і напруги. Найефективнішим методом вважають той, який дає найточніший та швидкий результат. Одним із найбільш популярних методів виконання гармонічного аналізу є дискретне перетворення Фур'є.

Метод дискретного перетворення Фур'є (ДПФ) полягає у тому, що будь-яку періодичну функцію можливо зобразити у вигляді суми деяких гармонічних складових (синусоїд і косинусоїд з різними амплітудами, частотами) – розкладання в ряд Фур'є. Для збільшення швидкості проведення ДПФ розроблено послідовність швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). На даний час цей алгоритм широко застосовується практично в усіх сферах обробки інформації. Однак послідовності Фур'є мають кілька методичних відхилень, які в результаті дають неточність гармонічного аналізу. Основними недоліками є обмеженість частотного розподілення і правильності оцінки частоти деяких гармонічних складових. В першому випадку - дозволяюча здатність розділення двох спектральних складових з близькими частотами, а в другому – правильність визначення частоти відокремленою гармонічною складовою. Для покращення

точності виконання ШПФ використовується додаткові математичні операції. Наприклад, для уникнення ефекту розсіювання] (у випадку коли довжина вибірки сигналу нерівна періоду функції, яку аналізують) виконується синхронізація частоти дискретизації з частотою досліджуваного сигналу, доповнення нулями початкової вибірки аналізованого сигналу, або застосування часових чи спектральних вікон. Дієвим засобом зниження ефекту спектральних витоків є використання віконних функцій з інтерполяційним алгоритмом.

Однак всі засоби не підвищують частотну подільність. Наприклад, використання спектральних або часових вікон знижує ефект розсіювання за рахунок зниження частотного розподілення (при неврахуванні частки інформації про функцію, яка аналізується), а при доповненні первинної вибірки нулями, підвищується вибірковість оцінювання частот вузькосмугових спектральних піків внаслідок зниження нерівномірності амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) і неточностей, які залежні від її нерівномірності.

Не так давно появились праці, щодо удосконалення існуючих методів формулювання якісних характеристик електроспоживання в цілому, і гармонійного аналізу, окремо.

У зв'язку з постійним збільшенням кількості задач в галузі електроенергетики, які вимагають рішення з використанням сучасних математичних методів і технічних засобів, досить актуальним є пошук шляхів удосконалення існуючих методів визначення якісних характеристик електроспоживання та гармонічного аналізу.

В деяких роботах наведено просторово-часову модель знаходження амплітуди і фази основної частоти, її гармонік у реальному масштабі і несинусоїдальних режимах. Отримані ефективні дослідження щодо знаходження середньоквадратичних значень гармонік. Крім того, використовують фільтр Кальмана для оцінки гармонічного складу сигналу. Зазначений метод характеризується як модель в просторі станів для відслідковування амплітуди і фази основної частоти, її гармонік. Для виконання гармонічного аналізу використовують різні підходи: метод найменших квадратів, Проні, статистичного

аналізу гребінчастих фільтрів та інші.

В даний час загальне поширення отримало вейвлет-перетворення, у якому використовуються спеціальні функції апроксимації, які називають материнськими вейвлетами. Вейлет Ψ - це функція з нульовим середнім значенням:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (3.1)$$

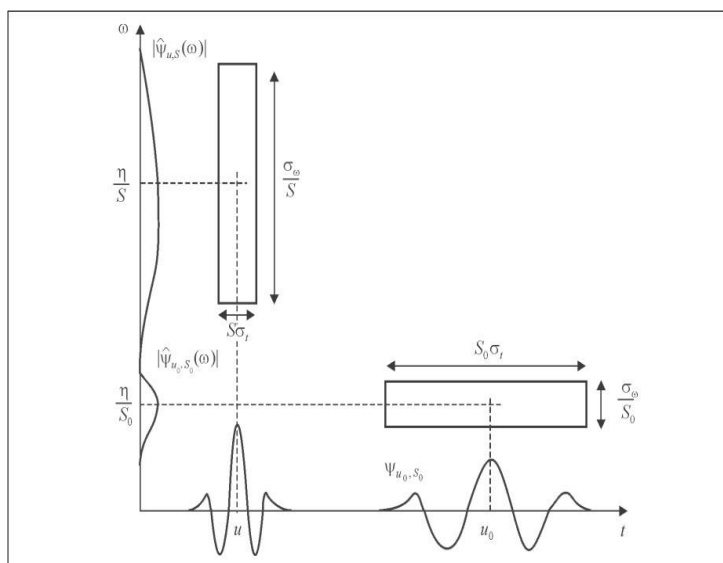


Рисунок 3.1 – Частотно-часовий прямокутник для вейвлетів $\Psi_{u,S}$ та Ψ_{u_0,S_0} є параметром розтягування S та параметром зсуву u [36]:

$$\Psi_{u,S} = \frac{1}{\sqrt{S}} \Psi \left(\frac{t-u}{S} \right) \quad (3.2)$$

Вейвлет-перетворення функції f з масштабом S і зсувом u обчислюється кореляцією f з вейт-атомом:

$$Wf(u, S) \leq f, \Psi_{u,S} \geq \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{S}} \Psi^* \left(\frac{t-u}{S} \right) dt, \quad (3.3)$$

де Ψ^* - комплексно сполучений вейвлет.

Застосувавши формулу Парсеваля, вираз (3.3) запишемо у вигляді інтегралу по частоті:

$$Wf(u, S) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi^* dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(\omega) \frac{1}{\sqrt{S}} \psi_{u,S}^* d\omega. \quad (3.4)$$

Як видно з (3.4), вейвлет-коефіцієнт $Wf(u, S)$ залежить від знячення $f(t)$ та $f(\omega)$ в частотно-часовій межі, де зосереджені енергії ψ^* і $\psi_{u,S}^*$. Зміни в часі Гармонічних складових можна виявити по зсуву та масштабу вейвлет-коефіцієнтів найбільшої амплітуди.

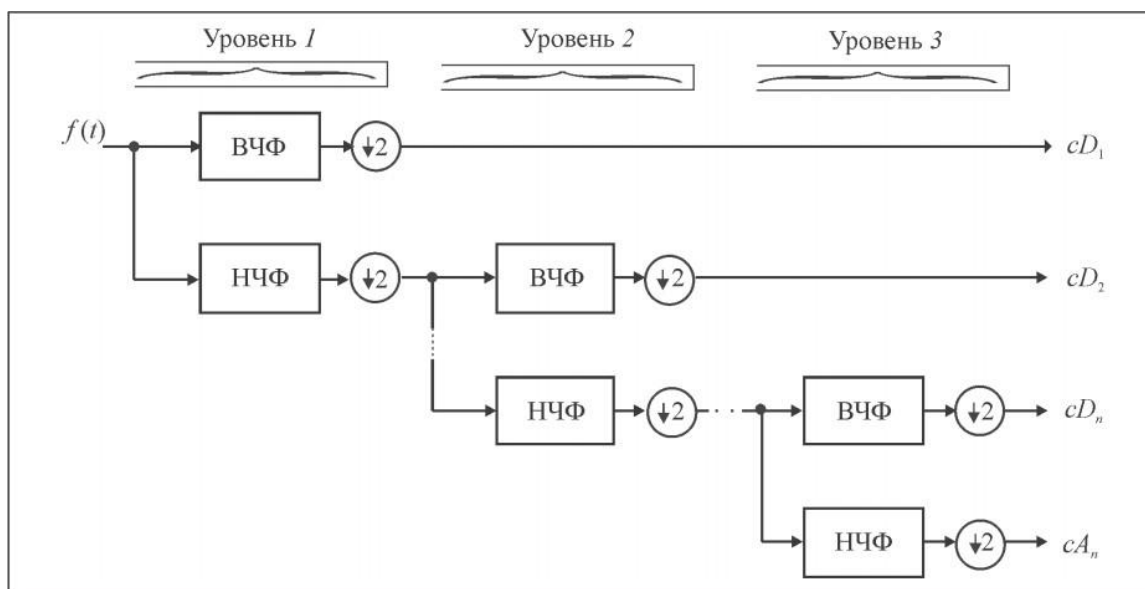


Рисунок 3.2 – Дерево вейвлет-розкладення по алгоритму Малла: ВЧФ та НЧФ- високочастотний і низькочастотний фільтри; - децимація (зменшення числа коефіцієнтів в два рази) [37]

З рисунку 3.1 видно, що при зменшенні масштабу S носій стає меншим по часу, але тривалість по частоті збільшується, і прямокутник Гейзенберга перепадає в область високих частот. При цьому площа прямокутника залишається постійною. Теоретично безперервне вейвлет-перетворення (БВП) складається з безкінечного числа різних вейвлетів, які утворюються в результаті модифікації

коефіцієнтів масштабу і часу оригінальним матиринським вейвлетом. Відповідно, технологія БВП можлива для проведення аналізу сигналів з високою роздільною здатністю і є основою для визначення їх параметрів.

3.2 Визначення гармонік і флікера за допомогою вейвлет-аналізу.

Відомі два основних підходи до визначення гармонік і флікера за допомогою вейвлет-аналізу. Перший базується на коротко-масштабному аналізі (КМА) з використанням банку вейвлет-фільтрів на першому кроці та застосуванням БВП підгруп на другому кроці, другий – на використанні комплексного вейвлет-перетворення або БВП.

Перший підхід ідентифікації гармонік в електромережах на базі використання комбінації дискретного вейвлет перетворення (ДВП) та БВП відносно кількісної оцінки частотних гармонік, їх амплітуди та фази.

На першому кроці виконано декомпозиція частотного спектру на два піддіапазона на основі ДВП за допомогою функції Добеші високих порядків.

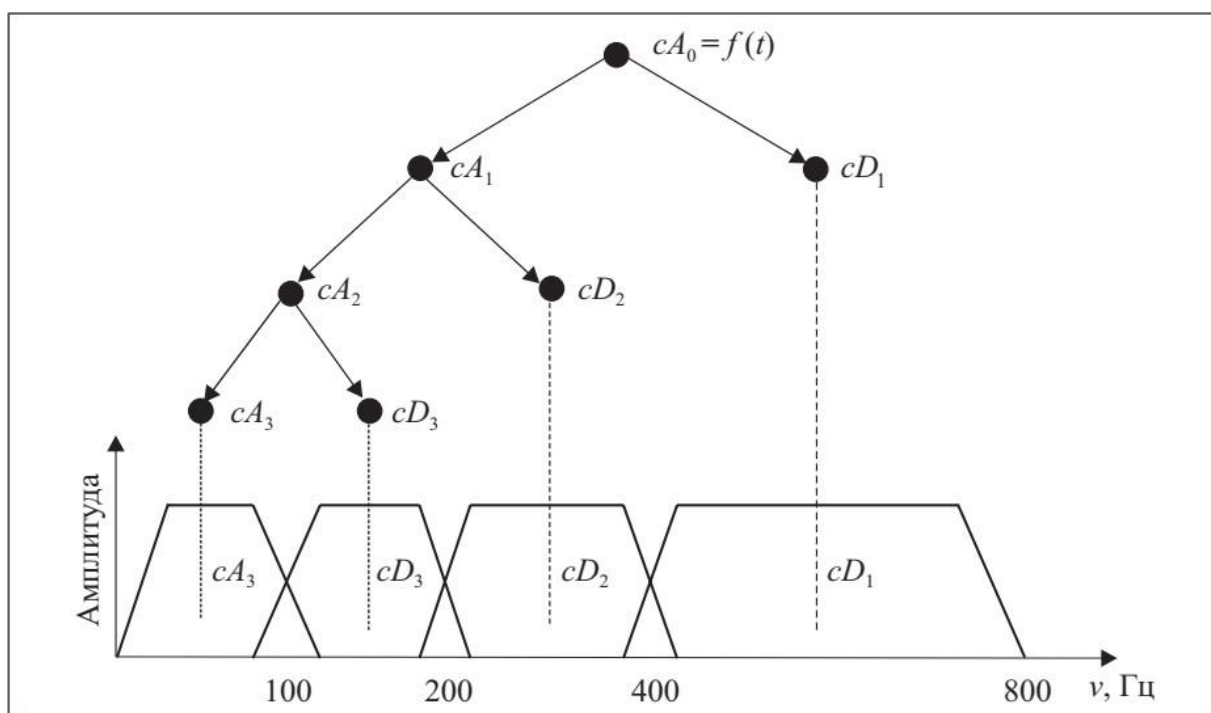


Рисунок 3.3 – Нерівномірні частотні смуи КМА

На другому кроці застосовано БВП до ненульових діапазонів. Зазначений метод успішно компенсує частотні недосконалості фільтру при використанні банку вейвлет-фільтрів.

В більш пізніх роботах описано застосування вейвлет-аналізу для вдосконалення АЧХ фільтрів, аналізу субгармонік, використання трапецідальної комплексної вейвлет-функції, різних видів материнських вейвлетів.

Швидке вейвлет перетворення по алгоритму Малла являє собою КМА (рисунок 3.2). при переході з рівня 0 на рівень 1 вхідна функція $f(t)$ за допомогою високочастотних фільтрів та низькочастотних фільтрів розділяються на частотні полоси, які характеризуються апроксимуючими cA_i і деталізуючими cD_i коефіцієнтами. При переході з рівня 1 на рівень 2 апроксимуючі коефіцієнти в свою чергу розділяються за допомогою фільтрів на низькочастотні (апроксимуючі) та високочастотні (деталізуючі) коефіцієнти (рисунок 3.3).

По данному алгоритму можливо визначити середньоквадратичні величини струму, напруги і потужності, проте він не дозволяє визначити середньоквадратичне значення струму, напруги та потужності окремих гармонічних компонентів. Тому в даний час для проведення гармонійного аналізу використовується пакетне вейвлет-перетворення. При застосуванні пакетного вейвлет-перетворення декомпозиції піддаються як деталізуючі коефіцієнти так і апроксимуючі на всіх рівнях i , відповідно, це утворює рівномірнорівневі частотні діапазони (рисунок 3.4).

Можливості застосування пакетного вейвлет-перетворення для проведення часово-частотного гармонічного аналізу показані в багатьох роботах. Зокрема, для підвищення швидкодії, точності визначення гармонік, виключення спектральних витоків використовується різні способи, заснованні на перетворенні Гільберта [45], застосування різного роду фільтрів [46], комбінації декількох методів [47]. В [44, 48] визначена контрольнo-вимірювальна апаратура для вимірювання гармонік та інтергармонік електричного струму та напруги в системах

електропостачання. В якості методу вимірювання пропонується використання ДПФ з застосування часового вікна Хеннінга при втраті синхронізації. При цьому довжина часового інтервалу вимірювання повинна бути рівна десяти періодам основної частоти при прямокутному вікні зважування. Можливі інші способи аналізу, а саме: використання банків цифрових фільтрів, вейвлет-перетворення.

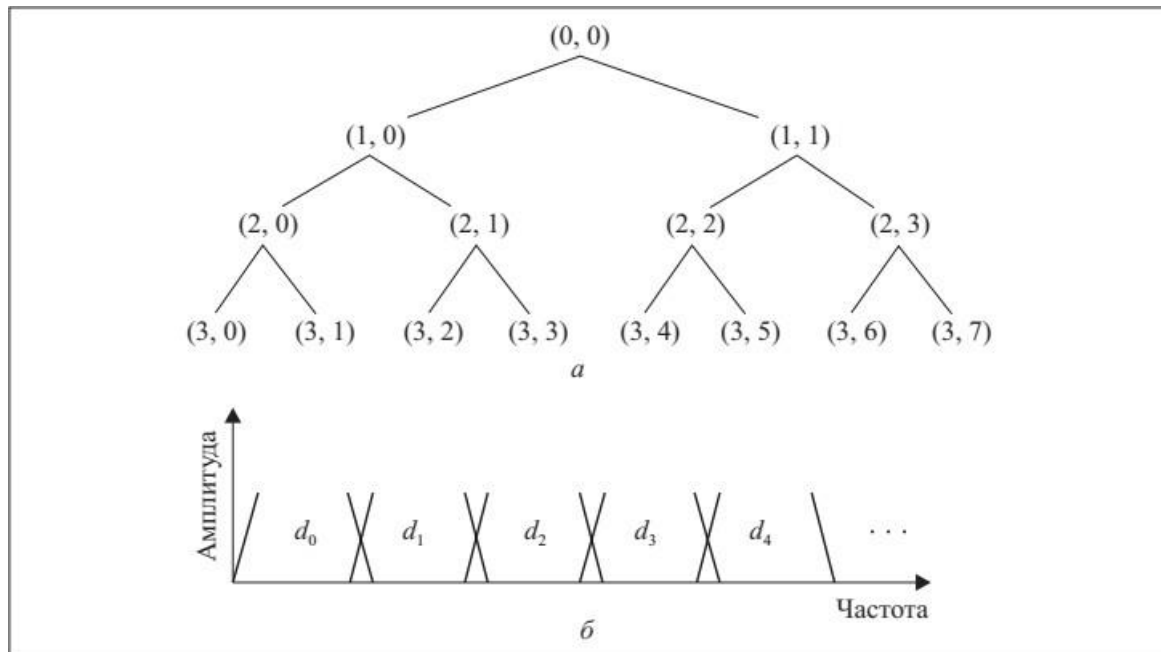


Рисунок 3.4 – Дерево декомпозиції (а) та частотні смуги (б)

Вперше вейвлет-аналіз в електричних мережах був запропонований в 1994 році Р. Ribério. Вейвлет-аналіз відрізняється від перетворень Фур'є тим, що під час виміру частотно-часових змін спектральних компонентів інформаційного сигналу має іншу частотно-часову роздільність. Тому, у роботі виконаний порівняльний аналіз розрахунку гармонічних компонент з використанням ДПФ і вейвлет-аналізу згідно вимо.

Для забезпечення точнішого представлення гармонік при нелінійних навантажень в системі електромереж, до групи гармонік приєднуються проміжні спектральні лінії. В цей час, середньоквадратичне значення гармонічної групи буде рівне квадратному кореню з суми квадратів середньоквадратичних значень гармонічної складової та спектральних складових, що приєднуються до неї, які

відповідають цьому періоду тимчасового інтервалу виміру. Отже, для оцінювання гармонік результати виконання ДПФ повинні бути згруповані згідно наступної формули:

$$G_{g,n}^2 = \frac{C_{k-5}^2}{2} + \sum_{i=-4}^4 C_{k+i}^2 + \frac{C_{k+5}^2}{2}, \quad (3.5)$$

де G_n – середньоквадратичне значення гармонійної групи порядку n ; C_{k+i} – середньоквадратичне значення спектральної складової відповідної частотної позиції ДПФ;

n – порядок гармоніки рівний k/n ;

k

– компонент Фур'є;

N – число періодів у вікні години вимірів ($N=10$).

У зв'язку з тим, що момент взаємної кореляції між гармоніками рівний нулю, можливо підсумовування квадратів поточних значень.

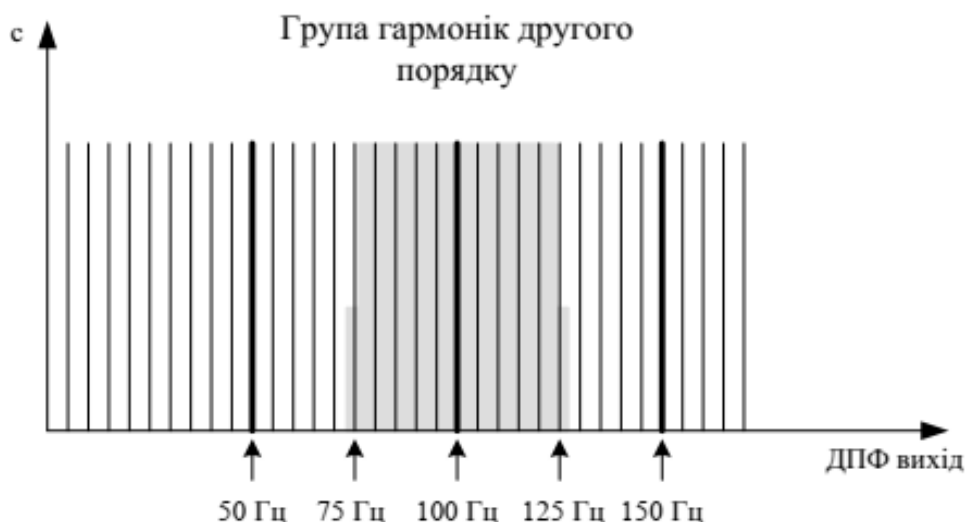


Рисунок 3.5 – Схема утворення гармонічної групи [30]

Середньоквадратичне значення гармонічної підгрупи буде рівне

квадратному кореню з суми квадратів середньоквадратичних значень гармонійної складової та двох спектральних складових, що прилягають до неї (рис. 3.6)

$$G_{sg,n}^2 = \sum_{i=-1}^1 C_{k+i}^2 \quad (3.6)$$

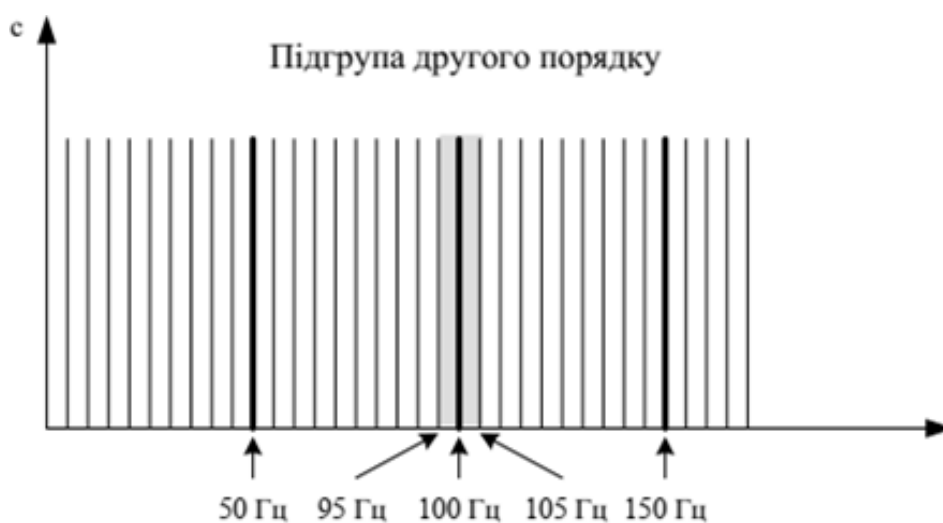


Рисунок 3.6 – Схема утворення підгрупи [30]

Математичне визначення гармонік та інтергармонік відповідно до Стандарту МЭК 61000-2-2 представлено в таблиці (3.1)

Таблиця (3.1) – Математичне визначення гармонік, інтер-субгармонік (підгармонік)

Гармоніка	$f = nf_1$, де $n \in \mathbb{Z}$, $n > 0$
Компонента постійного струму	$f = nf_1$, де $n = 0$
Інтергармоніка	$f \neq nf_1$, де $n \in \mathbb{Z}$, $n > 0$
Суб(під)гармоніка	$f > 0$ Гц та $f < f_1$

f_1 – основна частота

Інтергармонічна частота – люба частота, яка не кратна основній частоті. По аналогії із порядком кратності гармонік порядок інтергармонічної частоти заснований по відношенню до основної частоти. Якщо це відношення менше одиниці, то таку гармонічну частоту називають субгармонічною.

Послідовність визначення гармонічних груп є наступною. Як відомо, гармонійний аналіз треба виконувати до 50 гармоніки, що при частотному розподіленні 5 Гц, часовому періоді 200 мс та необхідності дотримання умов теореми Шенона (Котельникова) спричиняє частоту дискретизації вхідного сигналу 6,4 кГц і вейвлет-розкладання до $j=7$ рівня.

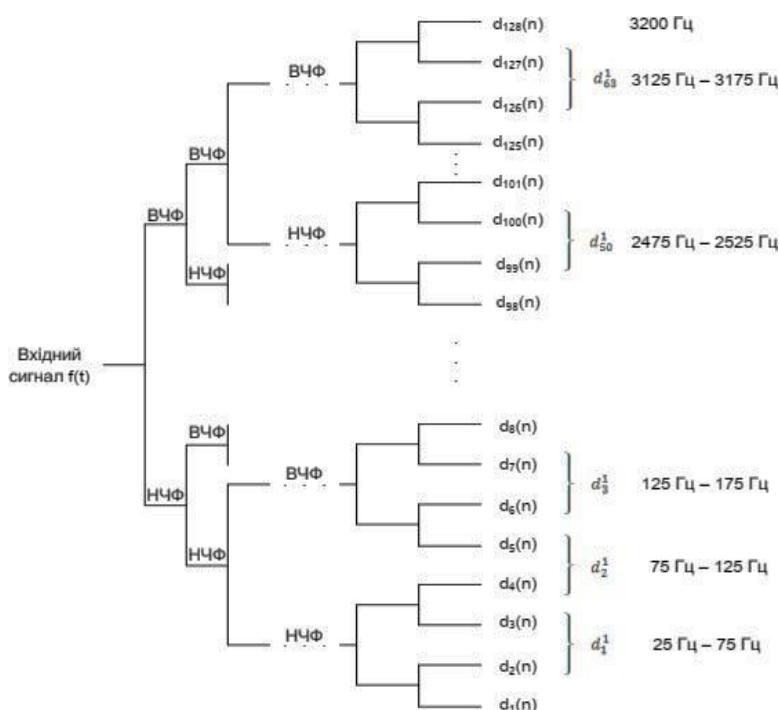


Рисунок 3.7 – Дерево вейвлет-пакетного розкладання з групуванням частотних смуг (діпазонів): $d_1(n)$, $d_{128}(n)$ – вейвлет-коефіцієнти сьомого рівня розкладання (частотні смуги шириною 3200/128-25 Гц)

Згрупуємо на 63 групи d_{63}^1 згідно (3.1) вейвлет-коефіцієнти сьомого рівня розкладання, з кожною складовою частоти гармоніки (парних, непарних) з

інтервалом 50 Гц в центрі групи. Порахуємо середньоквадратичне значення для кожної групи як квадратний корінь з середнього квадрата коефіцієнтів двох підгруп, що належать до кожної групи, згідно [32,33]. Наприклад:

$$x_{\text{сркє}}(j, p) = \sqrt{\sum_{k=0}^{2^j-1} (d_{j,k}^p)^2}, \quad (3.7)$$

Вцілому середньоквадратичне значення сигналу кожного вузла (j, p) визначається з допомогою вейвлет-коефіцієнтів

$$x_{\text{сркє}}(1) = \sqrt{\frac{1}{2}(d_1')^2} = \sqrt{\frac{1}{2}(d_2(n) + d_3(n))^2}. \quad (3.8)$$

Тобто, середньоквадратичне значення гармонічних груп сигналу на кожному етапі вейвлет-декомпозиції визначиться наступним чином:

$$x_{\text{сркє}}(j) = \sqrt{\sum_{p=0}^{2^j-1} (x_{\text{сркє}}(j, p))^2}, \quad (3.9)$$

Досліджуваним сигналом вибрано наступний (рис. 3.8):

$$f(t) = 5 \cdot \sin(f \cdot 2 \cdot \pi \cdot t) + 1.5 \cdot \sin(3 \cdot f \cdot 2 \cdot \pi \cdot t) + 0.75 \cdot \sin(7 \cdot f \cdot \pi \cdot t) + 0.5 \cdot \sin(310 \cdot 3 \cdot \pi \cdot t) + 0.5 \cdot \sin(686 \cdot 2 \cdot \pi \cdot t) + 0.5 \cdot \sin(952 \cdot 2 \cdot \pi \cdot t); \text{де } f = 50,1 \text{ Гц.}$$

Сигнал містить гармоніки, інтергармоніки та субгармоніки. Рівень вейвлет-розкладання – $j = 4$ (16 відліків на період), часове вікно становить 10 періодів, частота дискретизації складає 800 Гц (0,00125 с). В результаті аналізу факту гармонік у електричній мережі обрано даний сигнал. Отже, коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги установлюється: для установок дугового і контактного зварювання – 5, 7, 11, 13 – гармоніками; для використання газорозрядних ламп призводить до виникнення струмів 3 та 5 гармонік (можуть

складати 10 % та 3 % від струму основної гармоніки); в мережах з електродуговими сталеплавильними і руднотермічними печами основним чином 2, 3, 4, 5, 7 – гармоніками; трансформатори головної понижуючої підстанції надають 5 – ту гармоніку при несинусоїдальній напрузі на їх вводах.

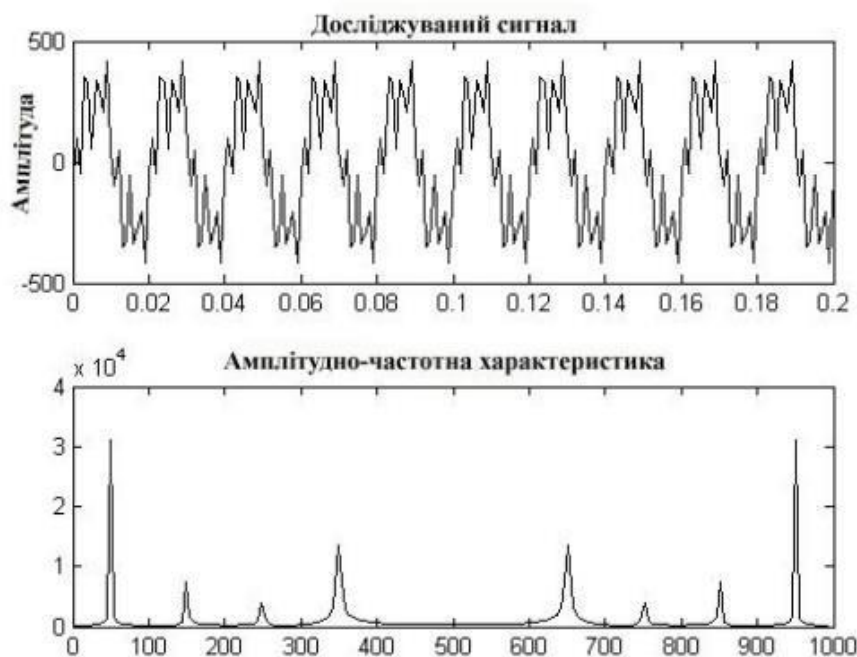


Рисунок 3.8 – Досліджуваний сигнал і його амплітудно-частотна характеристика

Обчислення гармонічних груп виконується за допомогою ДПФ згідної вейвлет-аналізу з різними типами вейвлетів. Результати обрахувань наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняльний аналіз вимірювання гармонічних груп за ДПФ і вейвлет-перетворенням

Частотна смуга (діапазон), Гц	Гармонічна група	ДПФ	Вейвлет-аналіз			
			Добеші		'haar'	'morl'
			'db2'	'db9'		
25-75	1	216,001	219,0010	219,83	219,05	219,01
125-175	3	51,001	54,002	54,006	53,95	54,98
225-275	5	26,55	29,005	29,065	28,45	29,98
325-375	7	118,005	118,894	119,09	118,10	118,010
Сумарне значення	257,36		257,357	258,9	257,48	258,33
Помилка, %	0,013		0,015	-0,2	0,298	-0,0144

У якості вейвлет-базисів застосовувалися вейвлети Добеші, Хара і Морле. З таблиці 3.2, результати обчислення гармонічних груп за послідовністю ДПФ і вейвлет-аналізом відрізняються в четвертому знаку після коми, отже є рівнозначними.

На рис. 3.9 наведений досліджуваний сигнал.

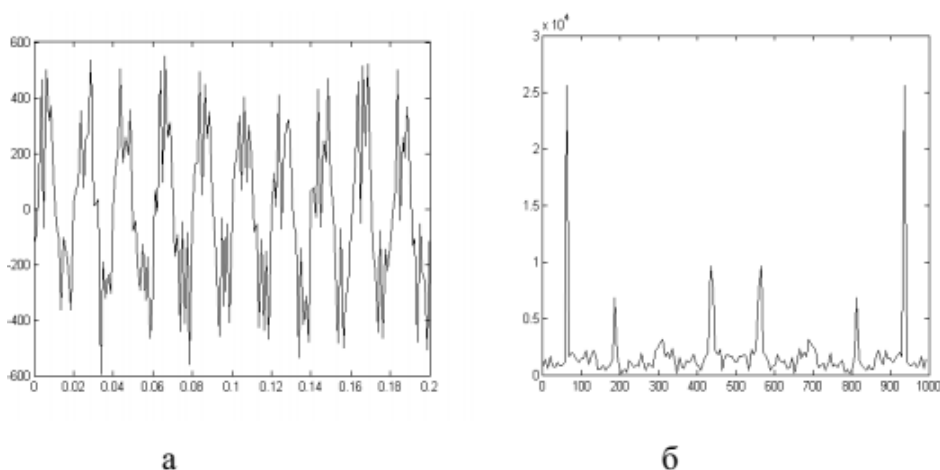


Рисунок 3.9 – Досліджуваний сигнал шумовою складовою (а) і його амплітудно-частотна характеристика (б)[30]

Таблиця 3.3 – Аналіз виміру гармонічних груп за ДПФ і вейвлет-перетворенням сигналу із шумом (рис. 3.5, а)

Частотний діапазон, Гц	Гармонічна група	ДПФ	Вейвлет-аналіз			
			Добеші		'haar'	'morl'
			'db2'	'db9'		
25-75	1	220,9	220,13	221,00	221,65	220,09
125-175	3	56,08	55,09	56,40	56,48	55,10
225-275	5	30,61	30,1	30,67	31,45	30,21
325-375	7	121,1	120,06	121,19	121,36	120,055
Сумарне значення	259,89		258,48	259,10	260,84	258,35
Помилка, %	-0.612		-0.0658	-0.306	-0.979	-0,058

Проведемо аналіз вищезазначених результатів на стійкість у випадку присутності у досліджуваному сигналі (напрузі електромережі) спотворень. Для такого випадку в електричний сигнал $x(t)$ включимо спотворення – шумову складову. Характер амплітудно-частотної характеристики (рис. 3.9, б), визначений за допомогою ДПФ, доводить, що шум спричиняє зміни частотного образу сигналу на всьому інтервалі частот, які поширюються по усій частотній осі. Тобто, їх встановлення за діапазоном стає майже неможливим.

Результати обрахунку гармонічних груп сигналу з шумовою складовою за допомогою ДПФ (без використання віконних функцій так як спотворення непостійні, а вибір потрібного вікна утруднюється) і вейвлет-аналізу наведено в таблиці 3.3. Порівнюючи отримані результати, бачимо, що застосування пакетного вейвлет-перетворення для гармонійного аналізу викривленого сигналу в електричних мережах є більш переважним порівняно з ДПФ.

В подальших дослідженнях точності гармонічного аналізу при наявності шуму у випадку використання вейвлет-аналізу високочастотні (деталізуючі вейвлет-коефіцієнти) виявляється з спектру в результаті обмеження їх рівня

деяким пороговим значенням, а в випадку ДПФ застосовуються вікна. Більш ефективним при зниженні впливу шуму на результати гармонійного аналізу виявився вибір чіткого порогу [42, 50] обмеження величини деталізуючих коефіцієнтів порівняно застосуванням віконних функцій.

Висновки до розділу.

1. Результати дослідження підтвердили, що забезпечення більш точного аналізу гармонічного складу сигналу, що досліджується при наявності нелінійних навантажень в системі електропостачання потребує включення в групи гармонік проміжних спектральних ліній.

2. При наявності нелінійних викривлень в електричній мережі найбільш точним методом визначення гармонічного складу напруги і струму є вейвлет-аналіз.

3. Ефективне підвищення точності проведення гармонічного аналізу може бути досягнуто при попередній очищеності сигналу від шуму з наступним вейвлет-аналізом (на відмінну від застосування віконних функцій з наступним ДПФ).

РОЗДІЛ 4

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ВПРОВАДЖЕННІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ З КОНТРОЛЕМ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ (АСКПЯЕ) НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

У цьому розділі виконано аналіз принципової можливості впровадження автоматизованої системи з контролем показників якості електричної енергії (АСКПЯЕ) на промислових підприємствах та імовірних векторів реалізації цього впровадження.

4.1 Аналіз принципової можливості впровадження

Ключовим елементом у розвитку економіки будь-якої держави і життєво необхідним фактором існування людства в сучасному світі є електрична енергія. Всі інфраструктури вважаються споживачами електричної енергії, тому необхідно своєчасне і якісне постачання нею всіх галузей. Ідея пропозиції полягає у впровадженні автоматизованої системи з контролем показників якості електричної енергії (АСКПЯЕ) на промислових підприємствах, яке дає змогу забезпечити безперервний моніторинг параметрів режиму, облік електроспоживання та контроль якості електроенергії (ЯЕ), фіксація порушень припустимих значень показників якості електричної енергії (ПЯЕ) та інформування оперативного персоналу про ці порушення, а також ведення архівів досліджуваних параметрів режиму, електроспоживання та ПЯЕ для подальшого аналізу [2].

Автоматизована система обліку електричної енергії (АСОЕ) з контролем ПЯЕ - це сукупність програмних і технічних засобів, спеціалізованих для автоматичного обліку електроенергії, автоматичного управління процесом електроживлення та контролю якості електроенергії (ЯЕ) [52]. Впровадження

даної системи дозволить забезпечити підвищення точності й завадозахищеності вимірювань та зменшення похибки обробки інформації. Основоположним принципом роботи і призначенням системи є збір інформації споживачів електричної енергії по напрузі і потужності для обробки отриманої інформації і створення звіту[52].

Зміст ідеї: Впровадження автоматизованої системи показників якості електричної енергії (АСКПЯЕ) на підприємствах з різною специфікою, що дає можливість забезпечити безперервний моніторинг параметрів режиму, облік електроспоживання та контроль якості електроенергії (ЯЕ), фіксація порушень припустимих значень показників якості електричної енергії (ПЯЕ) та інформування оперативного персоналу про ці порушення, а також ведення архівів досліджуваних параметрів режиму, електроспоживання та ПЯЕ для подальшого аналізу.

Напрямки застосування:

1. Побут
2. Житлово-комунальний сектор
3. Промисловий сектор
4. Адміністративні будівлі

Вигода для користувача:

У побуті:

1. Контроль за нормованими ПЯЕ;
2. Моніторинг споживання і підвищення чутливості вимірювальних засобів обліку та, відповідно, зменшення витрат на оплату.
3. Візуалізація поточної (оперативної) і архівної вимірювальної інформації

У житлово – комунальному секторі:

1. Ліквідація безоблікового споживання електроенергії;
2. Регулювання споживання електроенергії шляхом відключення боржників від електромереж;
3. Складання балансу електроенергії по районах, підстанціях, будинкам.
4. Безперервний автоматичний контроль і діагностика працездатності АСКПЯЕ

та її компонентів.

Промисловий сектор:

1. Безперервні вимірювання ПЯЕ і інших параметрів електроенергетичних величин;
2. Ведення контролю поточної потужності по окремих точках;
3. Обробка результатів вимірювань параметрів електроенергетичних величин, в тому числі розрахунків статистичних характеристик ПЯЕ;
4. Формування звітів про ЯЕ;
5. Зберігання результатів вимірювань ПЯЕ і інших параметрів електроенергетичних величин;
6. Синхронізація всіх елементів АСКПЯЕ від єдиного джерела точного часу;
7. Безперервний автоматичний контроль і діагностика працездатності АСКПЯЕ та її компонентів;
8. Управління доступом до вимірювальної інформації і параметрів роботи АСКПЯЕ;
9. Контроль за нормованими ПЯЕ.

Адміністративні будівлі:

1. Безперервні вимірювання ПЯЕ і інших параметрів електроенергетичних величин;
2. Контроль за нормованими ПЯЕ.

Визначення потенційних техніко-економічних переваг пропозиції (чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників) для формування його конкурентоспроможності. В Україні та світові практики АСОЕ з контролем ПЯЕ є унікальною системою. Крім того, трирівнева АСОЕ цілком відповідає найвищим міжнародним стандартам, оскільки забезпечує одночасне вимірювання понад 100 технічних і 2 тис. комерційних параметрів.

4.2 Можливості технологічного контролю

Технологічний контроль за допомогою якого можлива реалізація пропозиції. Він викладений в таблці 4.1.

Таблиця 4.2 - Технологічна реалізація пропозиції

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Моніторинг ЯЕ в мережі шляхом вимірювання таких показників: напруги, небалансу напруги, напруги гармонік, флікерів, а також фіксації провалів напруги та перенапруги.	SCADA-систем	наявна	доступна
2.	Підвищення точності й завадозахищеності вимірювань та зменшення похибки	Створення запровадження алгоритмів	наявна	доступна
3.	Одночасне вимірювання параметрів електроспоживання та ПЯЕ	Створено методологію побудови трирівневої АСОЕ	розроблена	розроблена
4.	Керуючі впливи для забезпечення необхідної точності контролю параметрів режиму, ПЯЕ та електроспоживання	Розроблено математичну модель	розроблена	розроблена
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: SCADA-систем, розроблено математичну модель АСОЕ та запропонували низку алгоритмів для вимірювання параметрів.				

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок щодо можливості технологічної реалізації пропозиції: реалізація можлива так як розроблено нові технології застосування, а також за постійного оновлення програмного забезпечення SCADA-систем.

Висновки до розділу

В даному розділі розроблені пропозиції, які полягають у впровадженні автоматизованої системи показників якості електричної енергії (АСКПЯЕ) на промислових підприємствах. Вони дають змогу забезпечити безперервний моніторинг параметрів режиму, облік електроспоживання та контроль якості електроенергії (ЯЕ), фіксації порушень припустимих значень показників якості електричної енергії (ПЯЕ) та інформування оперативного персоналу про ці порушення, а також ведення архівів досліджуваних параметрів режиму, електроспоживання та ПЯЕ для подальшого аналізу.

Були визначені основні сфери використання: промисловість, побутовий споживач.

Пропозиції мають гарні перспективи впровадження в Україні. Існуючі системи контролю, обліку та планування використання енергоресурсів недосконалі та не контролюють якість електроенергії. Проект забезпечує одночасне вимірювання понад 100 технічних і 2 тис. комерційних параметрів. Попит на проект наявний, рівень конкуренції — відсутній.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз сучасного стану вироблення та споживання електроенергії в Україні та за її межами. Проаналізовано загальносвітову тенденцію поступової відмови від централізованого енергопостачання. Така тенденція проглядається на рівні великих споживачів, які один за одним відмовляються від електроенергії, одержуваної з єдиної енергетичної системи (ЄЕС), на користь встановлення власної малої (розподіленої) генерації. Розподілена енергетика (мала енергетика, мала розподілена енергетика) - концепція розвитку енергетики, що передбачає будівництво споживачами електричної енергії джерел енергії компактних розмірів або мобільної конструкції і розподільних мереж, які виробляють теплову та електричну енергію для власних потреб, а також напрямних надлишків в загальну мережу (електричну або теплову).

2. Охарактеризовано існуючі показники якості електричної енергії. Проаналізовано вплив РГ на якість електроенергії та визначено сторони, які винні в погіршенні цих показників. Енергоефективність безпосередньо залежить від якості електроенергії.

3. Для вирішення поставленої мети проаналізовано вплив нелінійних споживачів електроенергії на наявність вищих гармонік в електричній мережі. У зв'язку з цим досліджується спільна робота джерел, що виробляють електроенергію. Кожне з джерел має певні особливості своєї роботи тому можуть виникати проблеми сумісної роботи, внаслідок чого постає проблема оптимального відбору електроенергії від цих джерел та проблема оптимального споживання виробленої електроенергії електроустановками споживачів. Досліджено взаємний вплив різних джерел енергії на гармонічний склад електричної енергії і на дозу флікера. Результати показують, що при певному поєднанні завад на однойменних та різнойменних гармонічних складових енергетичних процесів різнорідних типів генераторів (джерел РГ) може виникати взаємокомпенсація або взаємопідсилення тієї чи іншої гармонічної складової в

навантаженнях.

4. Проведено огляд алгоритмів визначення гармонічного складу та ступеню спотворення форми сигналу. Розглянуто застосування вейвлет-перетворення для визначення окремих показників якості електричної енергії (гармонічних груп та інтергармонічних підгруп). Результати дослідження довели, що більш точний аналіз гармонічного складу сигналу при наявності нелінійних навантажень в системі електропостачання потребує включення в групи гармонік проміжних спектральних ліній. При наявності нелінійних викривлень в електричній мережі найбільш точним методом визначення гармонічного складу напруги і струму є вейвлет-аналіз.

5. Розроблено пропозиції щодо впровадження автоматизованої системи показників якості електричної енергії (АСКПЯЕ) на промислових підприємствах та побуті.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Коцар О.В. Автоматизовані системи контролю, обліку та управління енерговикористанням [електронне видання] / О.В. Коцар // Навч. Посібн. – К.: КПІ і. І. Сікорського, – Дніпро: Середняк Т.К., 2017, – 44 с. Режим доступу: https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/867249/mod_resource/content/1/%D0%9A%D0%BE%D1%86%D0%B0%D1%80%20%D0%9E.%D0%92.%20%D0%90%D0%A1%D0%9A%D0%9E%D0%95.pdf
2. Сінчук О.М., Сінчук І.О., Бойко С.М., Караманиць Ф.І., Ялова О.М. Пархоменко Р.О. Відновлювальні джерела електричної енергії в структурах систем електропостачання заліззорудних підприємств (Аналіз, перспективи, проекти): монографія. Кривий Ріг: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2017. 152 с.
3. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.
4. Hansen C. J., Bower J. (2004) An economic evaluation of small-scale distributed electricity generation technologies/Oxford Institute for Energy Studies. Oxford, 2004.
5. Майсснер Ф. Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні: потенціал, перешкоди і рекомендації щодо економічної політики / Ф. Майсснер, Ф. Укердт. – Берлін: BE Berlin Economics GmbH., 2010. – 42 с. Режим доступу: http://www.ier.com.ua/files/Projects/2010/2010_13/BE-Studie-ErneuerbareEnergien-ukr_final.pdf
6. Tanuj Deora; Smart electric power alliance; Lisa Frantzis, advanced energy economy; and jamie mandel // Rocky Mountain Institute on Feb 13, 2017. Режим доступу: <https://blog.advancedenergyunited.org/author/tanuj-deora-smart-electric-power-alliance-lisa-frantzis-advanced-energy-economy-and-jamie-mandel-rocky-mountain-institute>
7. ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT). Характеристики напруги

електропостачання в електричних мережах загальної призначеності [Чинний з 1.10.2014] – Київ: Держстандарт України, 2014. – 27 с.

8. Енергозбереження і енергоефективність-2. Конспект лекцій для студентів напрямку підготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи»/ Укл.: Вербицький Є.В., Кисельова А. О. - К.: НТУУ “КПІ”, 2014. – 136 с.

9. Шестеренко В.Є. Оптимізація систем електроспоживання промислових підприємств / В.Є. Шестеренко –К. ЧП “Глана”, 2001.с.- 213.

10. Харченко В.Ф. Електропостачання міст і промислових підприємств: Конспект лекцій для студентів 4 - 5 курсів денної і заочної форм навчання напряму підготовки 0906 „Електротехніка” (6.050701, Електротехніка та електротехнології”) / В.Ф. Харченко; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 168 с.

11. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Ципленков; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун- т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.

12. Навчальний посібник за курсом "Автономні перетворювачі" для студентів спеціальності 7.090803, 8.090803 "Електронні системи" денної і заочної форм навчання / Укладачі: О.О. Махно, В.В. Семенов, О.В. Будьонний, Н.А. Омельчук / За редакцією В.Я. Жуйкова – Запоріжжя: ЗДІА, 2009. – 126 с.

13. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П. Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.

14. Перелигін Б.В., Ткач Т.Б., Гор’єв С.А. Спектрально-часовий аналіз даних моніторинга: навчальний посібник / Одеський державний екологічний університет. Одеса: ТЕС, 2017. 124 с.

15. Chin M.T., Meliopoulos S. Wavelet-based algorithm for voltage flicker analysis // Proceeding Ninth International Conference on Harmonics and Quality of Power. – 2000. – Vol. 2. – P. 732 – 738

16. Michalik M., Okraszewski T.M. Application of the Wavelet Transform to Backup Protection of MV Networks – Wavelet Phase Comparison Method // IEEE Power Tech Conference, 2003.

17. Dash P., Pradham A., Panda G. Frequency estimation of distorted power system signals using extended complex Kalman filters // IEEE Trans. On Power Delivery. – 1999. – Vol. 14. – No. 3. – P. 761 – 766.

18. Barros J., Diego R.J. Application of the Wavelet-Packet Transform to the Estimation of Harmonic Groups in Current and Waveforms// IEEE Trans.on Power Delivery.- 2006. – Vol.21, №1. – P. 533-535.

19. СОУ НЕК 03.120.4-14:2021 Норми якості електричної енергії в магістральних та міждержавних електричних мережах НЕК Укренерго. Київ: ДП «НЕК «Укренерго», 2021 -189 с.

20. Статистичний аналіз даних вимірювань: навч. посіб. / Єременко В.С., Куц Ю.В., Мокійчук В.М., Самойліченко О.В. – К.: НАУ, 2013.– 320 с.

21. Ефективне керування режимами систем забезпечення споживачів електричною енергією [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітніх програм «Системи забезпечення споживачів електричною енергією» та «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» / В. А. Попов, В. В. Ткаченко, О. С. Ярмолук ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,32 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 163 с.

22. Коцар О.В. Автоматизовані системи контролю, обліку та управління енерговикористанням [електронне видання] / О.В. Коцар // Навч. Посібн. – К.: КПІ і. І. Сікорського, – Дніпро: Середняк Т.К., 2017, – 44 с.

23. Коцар О.В. Комплексне забезпечення достовірності та актуальності даних комерційного обліку в умовах запровадження в Україні ринку двохсторонніх договорів і балансуючого ринку // Енерг. та електрифікація, 2011. – №3 – С.27 – 39.

24. СОУ НЕК 20.171:2017 Методологія аналізу витрат і вигод проектів розвитку електричних мереж. Київ: ДП «НЕК «Укренерго», 2017. – 68 с.

25. Кодекс комерційного обліку електричної енергії: [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0311874-18>