

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри енергетики та
електротехнічних систем

доцент Чепіжний А.В.

ДИПЛОМНА РОБОТА
за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження особливостей підвищення
точності визначення показників якості електричної
енергії для умов АТ «Сумиобленерго» м. Суми»

Виконав

(підпис)

Жогло В.В.
(прізвище, ініціали)

Група

ЕТЕС 2301-2м

(Науковий) керівник:

(підпис)

Чепіжний А.В.
(прізвище, ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

завідувач кафедри енергетики та
електротехнічних систем

доцент _____ Чепіжний А.В.
(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

«_____» _____ 202__ року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Жогло Валерій Володимирович

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження особливостей підвищення точності електричної визначення показників якості електричної енергії для умов АТ «Сумиобленерго» м. Суми

керівник роботи: Чепіжний Андрій Володимирович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджено наказом по закладу вищої освіти від «26» 02 2024 р. № 572/ос

2. Термін подання здобувачем закінченої роботи «11» 11 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи показники з електричної мережі сигналів, нормативні документи для проведення досліджень, стандарти, постанови про забезпечення якості електричної енергії.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

1 Аналіз показників якості електричної енергії та причини їх спотворення.

2 Способи та методи визначення якості електричної енергії з аналізом точності визначення основних показників.

3 Результати досліджень якісних показників електричної енергії.

4 Охорона праці.

5 Економічне обґрунтування запропонованих рішень.

Висновки та пропозиції.

Список використаної літератури.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Презентаційний матеріал виконаний в програмі Power Point

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата

КАЛЕНДАРНИЙ ГРАФІК

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 15.08.2024 р.	
2	Складання плану роботи	до 23.08.2024 р.	
3	Написання вступу	до 26.08.2024 р.	
4	Підготовка розділу «Розділ 1»	до 28.08.2024 р.	
5	Підготовка розділу «Розділ 2»	до 16.09.2024 р.	
6	Підготовка розділу «Розділ 3»	до 14.10.2024 р.	
7	Підготовка розділу «Розділ 4»	до 21.10.2024 р.	
8	Написання висновків та пропозицій	до 28.10.2024 р.	
9	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 01.11.2024 р.	
10	Подання роботи на рецензування	до 05.11.2024 р.	
11	Подання до попереднього захисту	до 12.11.2024 р.	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

(Жогло В.В.)

(прізвище, ініціали)

**(Науковий) керівник
дипломної роботи**

(підпис)

(Чепіжний А.В.)

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Дослідження особливостей підвищення точності визначення показників якості електричної енергії для умов АТ «Сумиобленерго» м. Суми. Магістерська робота / Жогло Валерій Володимирович – Суми: СНАУ, 2024 р. – 48 с.

В роботі проведено визначення основних показників якості електричної енергії, що нормовані діючими стандартами. Проведено аналіз меж відхилення основних показників та сформовано основні підходи до опису спотворень сигналу, що характеризує показники якості.

Проведено дослідження основних методів визначення показників якості електричної енергії. Виконано аналіз основних переваг та недоліків. обрано кращі з методів, що дають можливість підвищення точності визначення показників якості.

Виконано аналіз основних видів спотворень для сигналу з електричної мережі та наведено основні графічні залежності. Визначено точність запропонованих методик на реальних прикладах сигналів з різним спотвореннями.

Наведено заходи з охорони праці та виконано техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень з підвищення точності визначення показників якості електричної енергії.

Ключові слова: показники якості, спотворення, імітаційна модель, напруга, імпульс, розрив, коротке замикання, гармоніка, сигнал, метод.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ПРИЧИНИ ЇХ СПОТВОРЕННЯ.....	7
1.1 Визначення основних показників якості електричної енергії для умов АТ «Сумиобленерго».....	7
1.2 Основні засоби для вимірювання та підвищення якості електроенергії в мережі.....	18
1.2.1 Особливості забезпечення поздовжньої компенсації.....	19
1.2.2 Особливості забезпечення поперечної компенсації.....	20
Висновки до розділу.....	22
2 СПОСОБИ ТА МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	
3 АНАЛІЗОМ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ.....	23
2.1 Основні методи для визначення параметрів якості електроенергії.....	23
2.2 Особливості методу Лапласа при перетворенні дискретного сигналу.....	25
2.3 Особливості проведення перетворень методом Котельнікова.....	26
2.4 Особливості методу Фур'є.....	27
2.5 Особливості використання методу Вейвлет-перетворення.....	29
2.6 Пропозиції по способу визначення якості електричної енергії.....	31
Висновки до розділу.....	34
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	35
Висновки до розділу.....	39
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	40
Висновки до розділу.....	41
5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ.....	43
Висновки до розділу.....	45
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	48

ВСТУП

Актуальність теми. Якість електричної енергії має доволі велике значення в усіх сферах життя та діяльності людини. Якість електроенергії характеризується певною сукупністю показників, що описують різноманітні її параметри. При цьому всі показники є визначеними в стандарті та затверджені відповідними постановами НКРЕКП. Більшість показників також описані в Кодесі систем розподілу.

Відхилення показників якості електричної енергії від нормативних значень в основному характеризується різними видами спотворень. Але більшість спотворень виникають одночасно та тривають певний період часу, а отже кожен з показників має певну часову характеристику. Стандартами також обмежено річну тривалість тих чи інших спотворень якісних показників електричної енергії.

Необхідно зазначити, що існують певні допустимі межі відхилення показників якості, які не мають значного негативного впливу на роботу електрообладнання споживачів. При цьому вихід за максимально допустимі межі будь якого з показників несуть доволі значний негативний вплив на роботу електрообладнання, що здатне призвести до виходу його з ладу та нанесення шкоди споживачам.

Виходячи з цього необхідною умовою є контроль показників якості електричної енергії на всіх стадіях починаючи від генерування і закінчуючи її споживанням. На сьогодні існує доволі велика кількість методів контролю показників якості, але загальний підхід потребує значного підвищення показників якості електричної енергії.

Зважаючи на вищевикладене тема дослідження є доволі перспективною та потребує подальших досліджень з визначенням основних показників роботи електричної мережі.

Мета та задачі дослідження. Визначення основних методів визначення якості електричної енергії з подальшим підвищенням точності визначення її основних показників.

Для проведення дослідження нами пропонується вирішити наступні задачі:

1. Визначення основних діючих показників якості електричної енергії в АТ «Сумиобленерго».
2. Аналіз основних методів визначення показників якості електричної енергії з вибором найбільш ефективніших та точних показників.
3. Визначення основних параметрів якості для вхідного сигналу з електричної мережі АТ «Сумиобленерго».
4. Економічне обґрунтування обраних методів підвищення точності визначення показників якості електричної енергії.

Об'єктом дослідження в роботі є параметри електричної енергії, що розподіляється між споживачами АТ «Сумиобленерго» та методи визначення показників якості електроенергії.

Предметом дослідження в роботі є показники якості електричної енергії, які можливо визначити існуючими методами з підвищенням їх точності.

Методи дослідження. В роботі використовувались різноманітні математичні методи та програмна обробка даних сигналу електричної енергії. Також для наглядності отриманих результатів застосовувались графічні методи зображення спотворень сигналу для визначення показників якості електричної енергії.

Практичне значення отриманих результатів полягає в покращенні методів та підвищенні їх точності при визначенні якісних показників електричної енергії.

1 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ПРИЧИНИ ЇХ СПОТВОРЕННЯ

1.1 Визначення основних показників якості електричної енергії для умов АТ «Сумиобленерго»

На сьогодні доволі велика кількість технологічних процесів напряму залежить від показників якості електричної енергії. Частіше за все низька якість електричної енергії призводить до порушення нормального режиму роботи обладнання і в більшості випадків може бути охарактеризована як зміни в системі електропостачання. Необхідно зазначити, що погіршення якості електричної енергії призводить до пошкодження різноманітного обладнання, трансформаторів та різноманітних електричних двигунів.

В країнах Європи проводяться дослідження по підрахунку кількості збитків, що нанесені неякісною електричною енергією. На жаль для України таких досліджень чи підрахунків не існує. Визначення показників якості електричної енергії та приблизні збитки від цього досліджуються лише вченими різноманітних університетів та дослідницьких установ.

На сьогодні існує два види спотворень електричної енергії, що впливають на показники електричної енергії:

- стаціонарні спотворення, що також називаються квазістаціонарні;
- спотворення, що викликані в зміні часового проміжку.

До першої групи спотворень в основному відносять різноманітні гармоніки, інтергармоніки, відсутність балансу напруги та її коливання. До другої групи відносяться переривання напруги, її зниження чи перевищення, різноманітні перехідні процеси за напругою та інші спотворення, що мають високе значення частоти.

Для подальшого аналізу необхідною умовою є аналіз показників якості електричної енергії, що діють сьогодні в умовах АТ «Сумиобленерго». До показників, що є основними в характеристиці якості електричної енергії відносять:

- показники різних відхилень значень напруги δU , %;

- величину розмаху зміни показників напруги δU_t , %;
- значення дозування коливань величини напруги ψ , %;
- коефіцієнт, що описує величину несинусоїдальності кривої величини напруги $k_{нсU}$, %;
- коефіцієнт, що враховує гармонійну складову величини напруги парного чи непарного порядків $kU(n)$, %;
- коефіцієнт, що враховує зворотну послідовність напруги k_{2U} , %;
- коефіцієнт, що враховує величину нульової послідовності значення напруг k_{0U} , %;
- тривалість величини провалу для напруги $\Delta t_{пр}$, с;
- значення імпульсної величини напруги $U_{імп}$, кВ;
- зміна частоти від номінальної Δf , Гц.

Ці десять показників є основними при визначенні показників якості електричної енергії в електричній мережі. Існують також додаткові показники якості електричної енергії, що використовуються більш рідше в різних нормативних та технічних документах:

- коефіцієнт, що враховує амплітудну величину модуляції напруги, $k_{мод}$;
- коефіцієнт, що враховує величину відсутності балансу міжфазних значень напруги $k_{неб.м}$;
- коефіцієнт, що враховує величину відсутності балансу фазних значень напруги $k_{неб.ф}$.

Всі ці показники повинні діяти та забезпечуватись протягом доби постійно. Основною вимогою нормативних документів на сьогодні є вимога забезпечення якості електричної енергії 95 % добового часу. В часовому проміжку воно становить 22,8 години від загального часу доби. При цьому протягом всього часу вищенаведені показники жодним чином не повинні виходити за межі всіх показників якості. Післяаварійні режими роботи електричних мереж також не повинні виходити за межі показників якості електричної енергії.

Основний контроль за показниками якості електричної енергії в точках вимірювання електричних мереж повинен виконуватись працівниками, що обслуговують електричні мережі. Необхідно зазначити, що замір показників якості електричної енергії на одній точці повинен виконуватись не менше доби.

Виходячи з вищенаведених основних показників якості електричної енергії пропонується провести більш детальний аналіз кожного з показників, що розглянуті вище.

Одним з основних показників є відхилення значення напруги. Даний показник доцільно визначати за виразом:

$$\delta U_t = \frac{U(t) - U_n}{U_n} 100\% \quad (1.1)$$

де $U(t)$ – значення напруги, що є діючим в прямій послідовності частоти чи значення діюче для параметру напруги, що визначається в певний момент часу t , кВ;

U_n – значення напруги, що є номінальним, кВ.

Величина значення діючого для міжфазних напруг для частоти, що є основною визначається з виразу:

$$U_t = \frac{1}{3} (U_{AB(1)} + U_{BC(1)} + U_{AC(1)}) \quad (1.2)$$

де $U_{AB(1)}, U_{BC(1)}, U_{AC(1)}$ – значення міжфазних напруг, що є діючими за основної частоти.

В результаті зміни параметру навантаження в певній характеристиці часу, зміни напруги, а також інших факторів виникає зміна падіння величин напруги для різних елементів мережі, що є рівнем значення напруги U_t . Виходячи з цього можливий варіант, коли в одній точці в різні моменти часу можуть бути різними значення напруги.

Необхідно зазначити, що умовою нормальної роботи електричних приймачів для електричних мереж 1 кВ забезпечується при виконанні умови відхилення значення напруги на вході до електричного приймача на рівні $\pm 5\%$ - для нормального значення напруги. Для максимального значення напруги використовується величина не більше $\pm 10\%$.

Відхилення напруги впливає на всіх без виключення електричних споживачів. Так термін служби різноманітних ламп для освітлення скорочується більш ніж на 4% в залежності від типу лампи. Також зменшення величини напруги призводить до зменшення рівня освітленості, що негативно впливає на певні виробничі процеси. Підвищення значення напруги доволі сильно впливає на показник терміну служби.

Якщо враховувати вплив напруги на різноманітні технологічні процеси, то слід зазначити, що зниження напруги сприяє підвищенню тривалості різноманітних технологічних операцій в різних установках.

Для регулювання необхідного значення напруги на шинах трансформаторних підстанцій (низька сторона) застосовують процес зустрічного регулювання величини напруги, що розміщується в центрі живлення. В центрі живлення підтримується необхідне значення навантаження максимальне – для максимального значення напруги на шинах, мінімальне – для мінімального значення напруги на шинах. Дане регулювання є місцевим типом регулювання ТП. Також застосовуються конденсаторні установки (регульовані чи не регульовані), які є прикладом місцевого типу регулювання.

Наступним показником, що має значний вплив на якість електричної енергії є величина діапазону зміни напруги. Значення діапазону зміни напруги можна знайти з виразу:

$$\delta U_t = \frac{U_i - U_{i+1}}{\sqrt{2} \cdot U_H} 100\% \quad (1.3)$$

де U_i та U_{i+1} – відповідно величини послідовності горизонтальних екстремумів взятих з амплітуди значень.

До різноманітних розмахів величини напруги часто відносять різноманітні зміни величини напруги, що є поодинокими. При цьому форма не має значення, а частота з якою повторюється розмахи знаходиться від 2 рази на 1 хв, до 1 разу на 1 год.

Подібні швидкі зміни величини напруги можуть бути викликані різноманітним режимом роботи станків металургійних підприємств, таких як, ВАТ «Центроліт», АТ «СМНВО-Інжиніринг» та інші підприємства міста Суми. Необхідно зазначити, що дані зміни можуть бути викликані також і різноманітною потужною зварювальною апаратурою та потужними асинхронними двигунами, що є короткозамкненими.

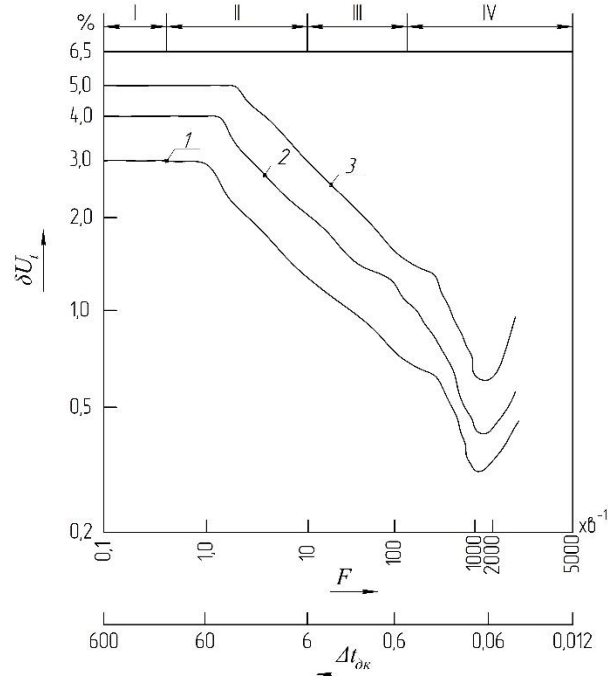
Кількість змін величини напруги за одиницю часу тобто число зміни величини напруги зазвичай визначають з виразу:

$$F = \frac{m}{T} \quad (1.4)$$

де m – кількість змін величини напруги за певну одиницю часу T ;

T – загальний часовий діапазон за який спостерігаються виникнення розмахів величини напруги.

Зазначимо, що основними вимогами до величини коливань напруги зумовлені саме міркуванням захисту людського зору, адже коливання величини напруги напряму впливають на мерехтіння різних типів ламп. Виходячи з цього існує графік допустимих значень коливань для різного типу ламп, що використовуються в освітленні приміщень (рис. 1.1).



1 – використання ламп розжарювання з великим параметром зорової напруги; 2 – використання ламп розжарювання побутового призначення; 3 – використання люмінесцентних ламп.

Рисунок 1.1 – Графік допустимих розмахів коливань величини напруги для робочого освітлення приміщення

Іншим доволі важливим показником є параметр доза коливань величини напруги. При цьому слід зазначити, що даний показник фактично ідентичний параметру розмаху коливань. Необхідно розмежувати два показники, оскільки доза коливань не враховує параметр допустимості розмаху величини коливання напруги.

Доза коливань величини напруги є також інтегральним показником коливань величину напруги. Допустима максимальна величина даного параметру описується величиною ψ . Дана величина вимірюється у відсотках. Доза коливань величини напруги також має певний вплив на освітлення та його мерехтіння з впливом на людський зір.

Наступним показником є коефіцієнт несинусоїдальності кривої величини напруги. Даний параметр виникає в результаті дії випрямних та перетворювальних установок великої потужності. При цьому в електричній

мережі в основному відбувається певне перекручування кривих величин струму та напруги.

Несинусоїдальні криві величин струму та напруги є певного роду гармонійні коливання. При цьому вони мають різні частоти, де нижчою гармонікою є частота промисловості, інші є відповідно вищими гармоніками.

Додаткові втрати електроенергії виникають в промислових (вищих) гармоніках. Також відбуваються зменшення терміну роботи конденсаторних батарей, трансформаторів та електродвигунів. Всі ці проблеми призводять до проблем з налагодженням різноманітних пристроїв релейного захисту.

Величина вищих гармонік в мережах характеризується величиною коефіцієнту несинусоїдальності кривої величини напруги, що визначається за рівнянням:

$$k_{\text{НСU}} = \frac{1}{U_{\text{н}}} \sqrt{\sum_{n=2}^N U_n^2} \cdot 100\% \quad (1.5)$$

де N – порядков врахування складових гармонік;

U_n – значення складової гармонік величини напруги, що є діючим в даній точці електричної мережі, кВ.

Слід зазначити, що існують прийняті нормальні значення та максимальні значення. Дані значення повинні знаходитись в певних межах, які описуються наступними параметрами:

- електромережі з напругою до 1 кВ – $k_{\text{НСU}} = 5\%$ та $k_{\text{НСU}} = 10\%$;
- електромережі з напругою від 6 до 20 кВ – $k_{\text{НСU}} = 4\%$ та $k_{\text{НСU}} = 8\%$;
- електромережі з напругою 35 кВ – $k_{\text{НСU}} = 3\%$ та $k_{\text{НСU}} = 6\%$;
- електромережі з напругою 110 кВ – $k_{\text{НСU}} = 2\%$ та $k_{\text{НСU}} = 4\%$.

Необхідно зазначити, що в електричних мережах проводять боротьбу з вищими гармоніками за допомогою використання різноманітних силових фільтрів. А для боротьби з нижчими частотами використовують різноманітні перетворюючі установки.

Найбільш розповсюдженим показником є величина несиметрії напруги. Несиметрія виникає в електричних мережах виникає в основному через використання однофазних електричних приймачів.

Несиметрія в основному проявляється в вигляді певної нерівності як лінійних так і фазних величин напруг. При цьому необхідно зазначити, що несиметрія характеризується коефіцієнтом, що визначається з рівняння:

$$k_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_H} 100\% \quad (1.6)$$

де $U_{2(1)}$ – відповідно значення напруги в зворотній послідовності, що є діючим в момент часу, кВ.

При цьому значення $U_{2(1)}$ можна визначити з наступного рівняння:

$$U_{2(1)} = \frac{\sqrt{3}(U_{A(1)}y_A + U_{B(1)}y_B + U_{C(1)}y_C)}{y_A + y_B + y_C} \quad (1.7)$$

де y_A, y_B, y_C – відповідно величина провідності фаз А, В, та С заданого приймача.

Необхідно зазначити, що в електричних мережах, що мають напругу вище 1 кВ несиметрія виникає в зв'язку з підключенням до неї різноманітних однофазних установок.

Проблема з наявністю в електричній мережі напруги зі зворотною послідовністю призводить до значного порушення в роботі генераторів, електричних двигунів, а також до значного скорочення терміну служби.

Допустимим коефіцієнтом несиметрії, що повинен бути на затискачах електроприймачів є значення від 2 % до 4 %, небільше.

Іншим показником, що негативно впливає на роботу електричної мережі та на якість електричної енергії є величина провалу напруги та інтенсивність їх виникнення.

Провалом напруги називають раптове значення зниження величини напруги по відношенню до початкового. При цьому провал напруги характеризується певною тривалістю $\Delta t_{пр}$. Даний показник визначається з рівняння:

$$\Delta t_{пр} = t_{від} - t_{поч} \quad (1.8)$$

де $t_{поч}$ – початкове значення часу моменту провалу;

$t_{від}$ – час за який проводиться відновлення моменту провалу.

Для більш детального розгляду провалу пропонується розглянути графік виникнення провалу та основні його величини (рис. 1.2).

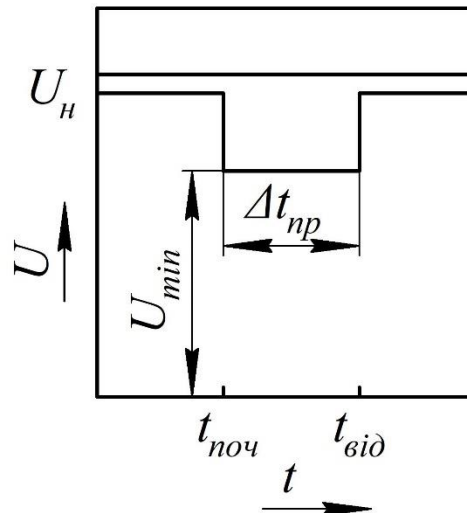


Рисунок 1.2 – Графік тривалості та глибини величини провалу напруги

Потрібно сказати, що $\Delta t_{пр}$ може тривати від декількох періодів до десятків секунд. Провали в напрузі характеризуються двома величинами, а саме його глибиною $\delta U_{пр}$, та мінімальним значенням напруги U_{min} . Данні величини визначаються з наступних рівнянь:

$$\delta U_{пр} = \frac{U_n - U_{min}}{U_n} 100\% \quad (1.9)$$

Вираз (1.9) можна представити в іншому вигляді:

$$\delta U_{\text{пр}} = U_{\text{н}} - U_{\text{min}} \quad (1.10)$$

Додатково провали характеризуються певною інтенсивністю, яка визначається з рівняння:

$$M^* = \frac{m(\delta U_{\text{пр}}, \Delta t_{\text{пр}})}{M} 100\% \quad (1.11)$$

де $m(\delta U_{\text{пр}}, \Delta t_{\text{пр}})$ – кількість провалів з відповідною глибиною та тривалістю, що виникають за певний час;

M – сума провалів, що виникають за певний час.

Провали напруги в електричній мережі виникають в більшості випадків через короткі замикання. Відповідно до цього більшість приладів є доволі чутливими до даного показника.

Зворотним показником до провалів є імпульсна напруга. Відповідно до цього імпульсна напруга є певного роду різкою зміною звичайного рівня напруги. Тривалість імпульсної напруги може бути в межах від мікросекунди до майже 10 мілісекунд. Імпульсна напруга описується величиною $U_{\text{імп}}$, основна схема його виникнення наведена на рисунку 1.3.

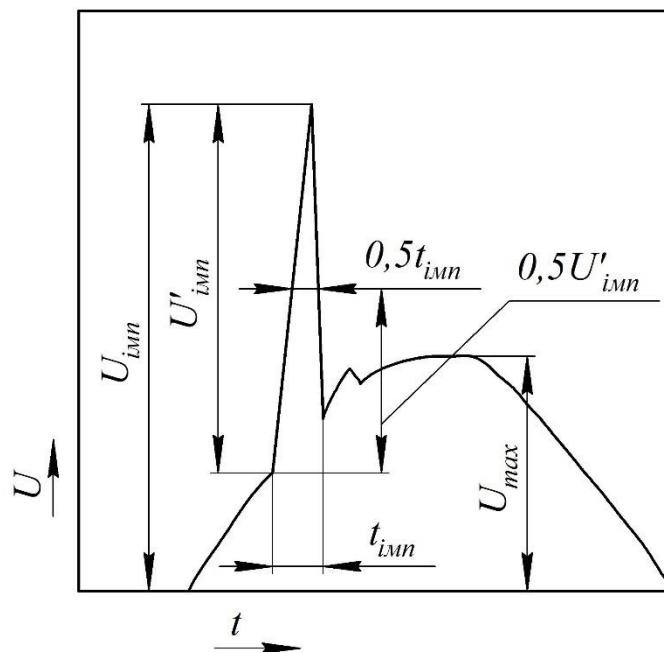


Рисунок 1.3 – Графік виникнення імпульсної напруги

Величину імпульсної напруги визначають з рівняння:

$$\Delta U_{\text{імп}} = \frac{U_{\text{імп}}}{\sqrt{2} \cdot U_{\text{н}}} \quad (1.12)$$

До імпульсів значення напруги також доволі чутливі всі прилади, як і до провалів.

Не менш важливим параметром якості є відхилення частоти. Вона виникає в тому випадку, коли присутні зміни в сумарному навантаженні та різних характеристиках регулювання частоти обертання різних генеруючих турбін. Необхідно зазначити, що відхилення частоти обертання напругу характеризує якість електричної енергії. При чому даний показник є загальносистемним параметром, який має знаходитись в межах 50 Гц.

Значення відхилення частоти можна визначити з рівняння:

$$\Delta f = f - f_{\text{н}} \quad (1.13)$$

де f – величина частоти в мережі в поточному часі.

Слід зауважити, що зміна частоти з перевищенням 0,2 Гц мають суттєвий вплив на економічні та технічні показники роботи електроприладів. Виходячи з цього існує два значення:

- значення нормально допустимого відхилення становить $\pm 0,2$ Гц;
- значення максимально можливе допустиме становить 0,4 Гц.

Але допускається частота 1 Гц протягом року не більше 90 годин за умови роботи в післяаварійних режимах.

На сьогодні існує ще безліч інших показників, що характеризують якість електричної енергії, але необхідною умовою є врахування напруги в лініях, їх призначення та інших показників. Якість електричної енергії в мережі області чи міста є комплексним показником, що вміщує в себе вищенаведений перелік різних показників. Основні показники, що характеризують якість електричної енергії розглянемо в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Показники електричної енергії, що характеризують якість електричної енергії відповідно до прийнятих стандартів

Показник	Допустиме значення	
	нормальне	граничне
Відхилення величини напруги	±5	±10
Короткочасне значення дози флікера	-	1,38
Тривале значення дози флікера	-	1
Коефіцієнт, що враховує спотворення синусоїдальної кривої величини напруги, %	не більше 8	не більше 12
Коефіцієнт, що враховує гармонійну складову величини напруги, %	не більше 5	не більше 7,5
Величина несиметрії напруги, %	не більше 2	не більше 4
Тривалість провалів величини напруги, с	-	30
Відхилення від нормальної частоти, Гц	±0,2	±0,4

Наведені в таблиці 1.1 показники можуть встановлюватись окремо для кожного з споживачів та вказуватись в відповідних договорах. В більшості випадків використовують для опису показників якості електричної енергії всі показники з даної таблиці.

1.2 Основні засоби для вимірювання та підвищення якості електроенергії в мережі

Попередньо необхідно зазначити, що при передачі електричної енергії виникає фактично основні три проблеми. По-перше, це стійкість передачі електричної енергії на певну відстань, що характеризується величиною транспортного кута. По-друге, контроль величини напруги за умови відсутності навантаження. По-третє, виникнення підсинхронного резонансу, що може викликати з ладу генераторні установки різноманітних електростанцій.

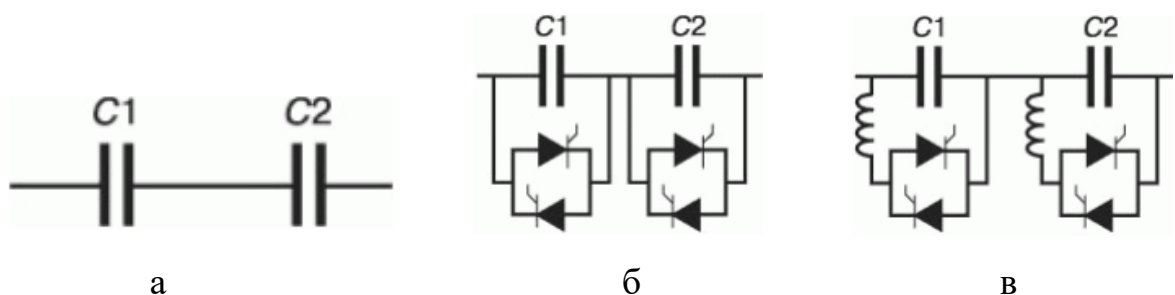
Прокладання нових ліній електропередачі пов'язане з великими витратами, а отже при передачі на значні відстані доводиться підвищувати потужність електричної енергії в лініях електропередачі. Збільшення потужності виникає в основному за рахунок збільшення значення сили струму.

Даних заходів можна досягти лише за умови виконання умов, що пов'язані з відсутністю теплових обмежень, наявністю якісного розподілу електричної енергії в мережі для живлення конкретної місцевості. За умови дотримання цих вимог виникає можливість передачі електричної енергії на максимальну відстань з максимальними показниками надійності. При цьому, для забезпечення вищенаведених вимог необхідною умовою є забезпечення транспортного кута на рівні 40° . Для забезпечення необхідного значення даного кута в електричних мережах використовують різноманітні поперечні та поздовжні компенсатори. Поперечні компенсатори, ще називають шунтуючими компенсаторами. Виходячи з цього потрібною умовою є розгляд основних пристроїв для виконання компенсації.

1.2.1 Особливості забезпечення поздовжньої компенсації

Всі електричні мережі високої напруги мають велике значення індуктивного опору. При цьому чим вище значення падіння величини напруги в мережі тим транспортний кут є більшим.

У випадку необхідності компенсації величини індуктивного опору можна застосовувати послідовне включення ємності. Станом на сьогодні використовується декілька варіантів конструкційних рішень даного питання (рисунок 1.4).



а – конденсатори для постійної ємності;

б – конденсатори з перемиканням за допомогою тиристорів;

в – конденсатори з керуванням за допомогою тиристорів

Рисунок 1.4 – Компенсування індуктивного опору з використанням ємності

Відповідно до компенсації за допомогою компенсаторів постійної ємності (рис. 1.4, а) підвищення потужності лінії електропередачі можливе до моменту досягнення обмеження за параметром тепловиділення. Дана схема забезпечує постійну ступінь компенсації. Дані системи не усувають виникнення підсинхронних коливань від генераторів на електростанціях. При цьому створюються сприятливі умови для виникнення підсинхронних коливань генераторного обладнання.

Компенсація з перемиканням за допомогою тиристорів забезпечують змінну східчасту ступінь компенсації (рис. 1.4, б). Опис особливостей відповідає попередньому способу компенсації.

Компенсація з керуванням за допомогою тиристорів забезпечує регулювання ступеня компенсації в будь-яких межах. Подібна система дозволяє керувати підсинхронними коливаннями та пригнічувати їх. Необхідно зазначити, що при перемикання між режимом ємності та режимом індуктивності неможливо без відключення певних резонансних явищ.

1.2.2 Особливості забезпечення поперечної компенсації

Для здійснення поперечної компенсації в електричну мережу вмикають спеціальні пристрої, що здатні поглинати та повертати реактивну потужність. При цьому в сталій точці електричної мережі забезпечується стаке значення напруги.

Конструктивне рішення для забезпечення подібної компенсації полягає в підключенні до мережі ємності з паралельним підключенням до неї пристрою для виконання регулювання, що компенсує надлишок реактивної потужності. В результаті забезпечується стала величина напруги. На рисунку 1.5 наведено схему пристрою для виконання поперечної компенсації в електричній мережі.

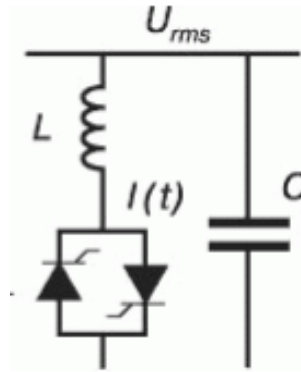


Рисунок 1.5 – Схема пристрою для забезпечення поперечної компенсації

Поперечна компенсація з використанням даного пристрою забезпечується відповідно до рівнянь:

$$Q_C = U_{rms}^2 \cdot C \cdot \omega \quad (1.14)$$

$$Q_L = U_{rms} \cdot I \cdot F_{rms} \quad (1.15)$$

$$Q_{SVC} = Q_C - Q_L \quad (1.16)$$

$$I(t)F_{rms} = \frac{U_{rms}}{L \cdot \omega} \cdot \frac{2\beta - \sin 2\beta}{\pi} \quad (1.17)$$

де $I(t)F_{rms}$ – дійсне значення для величини струму;

U_{rms} – дійсне значення для величини напруги;

L – величина індуктивності реактора;

C – ємність конденсаторних батарей;

ω – величина кута пропуску струму;

Q_L – величина потужності реактора;

Q_{SVC} – величина потужності тиристорного компенсатору.

В установках поперечної компенсації індуктивність змінюють за допомогою тиристорів, це так звані установки типу SVC. Схема установки SVC наведена на рисунку 1.6.

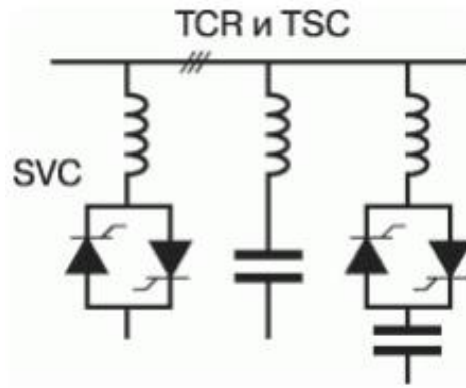


Рисунок 1.6 – Схема установки типу SVC для зміни індуктивності

Данні пристрої (рис. 1.6) мають можливість для гасіння підсинхронних коливань. За відсутності навантаження в мережі відбувається ріст напруги, для обмеження якої виконують поглинання реактивної потужності. SVC установки забезпечують виконання функцій поглинання реактивної потужності, а отже і регулювання рівня напруги.

Висновки до розділу

Необхідно зазначити, що нами розглянуто лише декілька пристроїв та основні їх принципи забезпечення якості електричної енергії. В реальності їх доволі велика кількість і призначення. Необхідно зауважити, що використання всіх пристроїв одразу несе за собою значні затрати на їх впровадження та подальшу експлуатацію. Виходячи з цього основною вимогою встановлення пристроїв регулювання показників якості електричної енергії залишається оптимізація якісних та вартісних показників електричної енергії.

2 СПОСОБИ ТА МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ З АНАЛІЗОМ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ

2.1 Основні методи для визначення параметрів якості електроенергії

На сьогодні відомо дві основних групи що описують спотворення показників якості електричної енергії. До першої групи відносяться стаціонарні спотворення, а до другої – змінні у часі спотворення.

До першої групи відносять такі показники, к гармоніки, коливання напруги, інтергармоніки та небаланс напруги. До другої групи відносяться зниження напруги або її підвищення, перехідні процеси значення напруги та різноманітні високочастотні спотворення показників якості електричної енергії.

Для визначення показників якості електричної енергії зазвичай використовується велика чисельність різноманітних методів обробки сигналів з інформацією.

Найбільш поширеним є метод середніх квадратичних значень. Даний метод ґрунтується на апроксимації кривих вхідних сигналів з використанням спеціальних функцій для забезпечення необхідної амплітуди частоти в електричній мережі.

Одними з переваг даного методу є простота та швидкість проведення обчислень. При всьому цьому для забезпечення роботи обладнання за даним методом потрібний малий об'єм пам'яті для зберігання інформації.

Даний метод також має ряд недоліків, що пов'язані з розміром обчислювального вікна та неможливістю розпізнавання гармонік та різного роду шуму.

Виходячи з такої проблематики, метод середніх квадратичних значень використовується для визначення середньоквадратичних значень величини напруги в мережі, а також для автоматизації класифікації отриманих сигналів.

Іншим, але менш розповсюдженим методом визначення показників якості електричної енергії є застосування так званих фільтрів Калмана. Дані фільтри дозволяють визначати стан моделі просторового сигналу амплітуди, гармонік, частоти та наявності шуму. Але через великі значення похибок даний метод не використовується.

Сьогодні доволі розповсюдженим є метод, що враховує швидке перетворення Фур'є. Скороченою назвою даного методу є відповідно аббревіатура ШПФ, яка є загальноприйнятою в наукових колах. Даний метод полягає в трансформації отриманого часово-просторового сигналу в частотний з подальшим поділом його на декілька компонент, що є частотними.

Серед обмежень є основний недолік даного методу, що пов'язаний з недостатньою точністю та частотній роздільності. Для вирішення питання з точністю даного методу застосовують безліч математичних перетворень. А для усунення ефекту розсіювання застосовується синхронізація частоти отриманого сигналу з частотою проведення дискредитації. Способом, що є діючим при зменшенні витоків спектрального витоку необхідно вважати використання різноманітних віконних функцій, що використовуються відповідно до алгоритмів інтерполяції. Але всі ці пропозиції по вирішенню питань, не дають жодних варіантів вирішення питань частотної роздільності, а в основному направлені на поліпшення показників точності.

Розглянуті нами способи ідентифікації різних спотворень в основному використовують для простого типу спотворень.

Аналізуючи сигнали в енергетиці, а саме в електричних мережах необхідно зазначити, що вони можуть мати одночасно декілька типів спотворень в одному і тому ж часовому проміжку. Для ідентифікації подібних спотворень проводились відповідні дослідження різноманітними науковцями. В основному це іноземні науковці, такі як, Abdel-Galil, Riberio, Lie, Hyvarinen та інші. Але необхідно зауважити, що всі рішення, що пропонувались для вирішення даної проблеми не знайшли великого застосування в розрахунках електричних сигналів.

Іншим напрямком дослідження є використання вейлет-аналізу, що дозволяє проводити розпізнавання та класифікацію різноманітних спотворень. Даним методом також займалися іноземні науковці такі, як Yang, Elmitwally, Gaouda та інші. Основна мета проведення досліджень полягала в зменшенні рівня шуму, що спотворює сигнал. Необхідно зазначити, що даний метод не можливо використовувати без додаткових методів.

Зазначимо, що всі розглянуті методи мають певні проблеми, і навіть комплектування їх в групи не давало однозначного результату. Аналіз даних мав доволі приблизний характер та при цьому мав певний вплив на параметри якості. Необхідно зазначити, що основною проблемою всіх перерахованих методів є те, що їх використання не можливе в режимі реального часу.

Для розуміння методики аналізу показників якості електричної енергії розглянемо математичні моделі проведення дослідження.

2.2 Особливості методу Лапласа при перетворенні дискретного сигналу

В різноманітних лінійних системах, що є неперервними та мають певні зосереджені параметри в тимчасових функціях мають вигляд наступного рівняння:

$$f(t) = a_1 e^{s_1 t} + a_2 e^{s_2 t} + \dots = \sum_{k=1}^{k=m} a_k e^{s_k t}, t > 0, f(t) = 0, t < 0 \quad (2.1)$$

де s_k – сигнал, що перетворений в площину комплексного характеру.

Для кращого розуміння розглянемо схему перетворення сигналів (рис. 2.1).

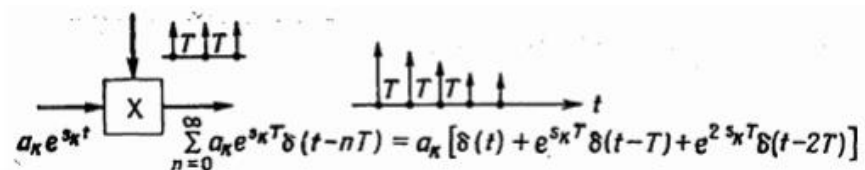


Рисунок 2.1 – Схема імпульсної дискретизації для сигналу, що є одиночним

Для прикладу пропонується розглянути рішення схеми (рис. 2.1), що описується складовою $f_k(t) = a_k e^{s_k t}$. При цьому сигнал після дискретизації матиме вигляд:

$$f_k(t) = \sum_{n=0}^{n=\infty} a_k e^{s_k t} \delta(t - nT) = a_k (\delta(t) + e^{s_k T} \delta(t - T) + e^{2s_k T} \delta(t - 2T) \dots) \quad (2.2)$$

Рівняння (2.2) є певного роду сумою імпульсів з певними коефіцієнтами $a_k e^{s_k t}$, $a_k e^{2s_k t}$ і т.д.

Опис перетворення Лапласа імпульсу, що поступає з запізненням описується рівнянням:

$$\mathcal{L}\delta(t - nt) = e^{-snT} \quad (2.3)$$

Виходячи з рівняння (2.3) можна вираз (2.2) переписати в наступному вигляді:

$$\mathcal{L}f_k(t) = F_k(s) = a_k (1 + e^{s_k T} e^{-sT} + e^{2s_k T} e^{-2sT} + \dots) \quad (2.4)$$

$$F_k(s) = \frac{a_k}{1 - e^{s_k T} e^{-sT}} = \frac{a_k}{1 - e^{(s_k - s)T}} \quad (2.5)$$

Необхідно зазначити, що за умови $|e^{(s_k - s)T}| < 1$ отримаємо рівняння:

$$\mathcal{L}a_k e^{s_k t} = \frac{a_k}{s - s_k} \quad (2.6)$$

2.3 Особливості проведення перетворень методом Котельнікова

Передача сигналів по лініях має певну нескінченність сигналів з різноманітними імпульсами. Виходячи з цього метод Котельнікова можна сформулювати наступним чином, що сигнал, що є неперервним обмежується

певною частотою мережі визначається сумою різноманітних миттєвих значень за певний момент часу.

Метод Котельнікова можна описати математичним виразом:

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} s(k\Delta t) \frac{\sin 2\pi f_B(t-k\Delta t)}{2\pi f_B(t-k\Delta t)} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} s(k\Delta t) \frac{\sin \omega_B(t-k\Delta t)}{\omega_B(t-k\Delta t)} \quad (2.7)$$

Іншим виглядом даного методу є:

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} s(k\Delta t) \cdot \operatorname{sinc} 2\pi f_B(t - k\Delta t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} s(k\Delta t) \cdot \operatorname{sinc} \omega_B(t - k\Delta t) \quad (2.8)$$

Дані рівняння є певним розкладанням отриманих сигналів по базисних функціях:

$$\{\eta_k(t)\} = \left\{ \frac{\sin 2\pi f_B(t-k\Delta t)}{2\pi f_B(t-k\Delta t)} \right\} \quad (2.9)$$

В даному рівнянні відсутнє обмеження по часу.

2.4 Особливості методу Фур'є

До розгляду потрібно обрати дискретний сигнал, що описується наступною функцією:

$$s_d(d) = s(t) \sum_{n=0}^{N-1} \delta(t - n\Delta t) = \sum_{n=0}^{N-1} s(t) \delta(t - n\Delta t) \quad (2.10)$$

де δ – значення дельти для даної функції.

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty & \text{якщо } t = 0; \\ 0 & \text{якщо } t \neq 0. \end{cases} \quad (2.11)$$

Проведемо обчислення рівняння Фур'є:

$$s_d(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s_d(t) \exp(-j\omega t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{n=0}^{N-1} s(t) \delta(t - n\Delta t) \exp(-j\omega t) dt \quad (2.12)$$

Далі пропонуємо виконати фільтруючу властивість дельти δ :

$$\int_{-\infty}^{\infty} s(t) \delta(t - \tau) dt = s(\tau) \quad (2.13)$$

Виходячи з вищенаведеної моделі, отримуємо наступний вигляд сигналу, зображеного нижче на рисунку 2.2.

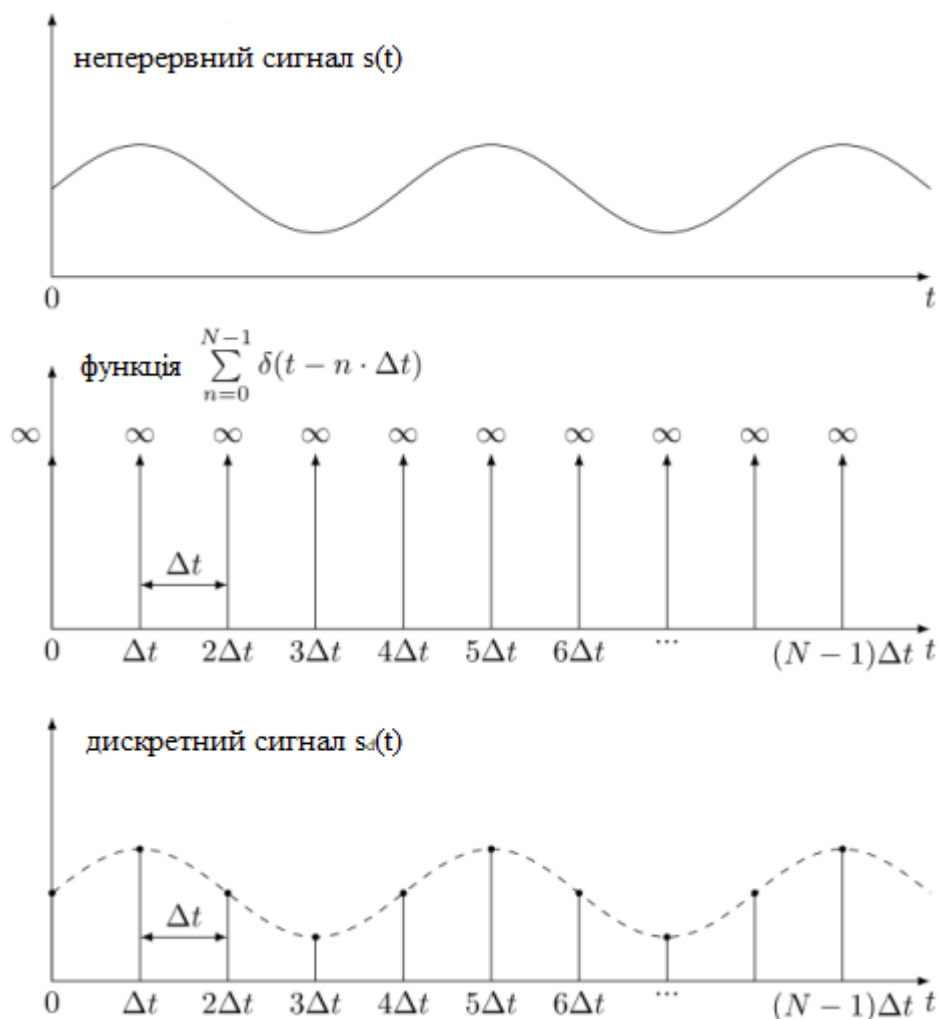


Рисунок 2.2 – Дискредитація отриманого сигналу методом Фур'є

$$s_d(\omega) = \sum_{n=0}^{N-1} \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \delta(t - n\Delta t) \exp(-j\omega t) dt = \sum_{n=0}^{N-1} s(n \cdot \Delta t) \exp(-j\omega n\Delta t) \quad (2.14)$$

Виходячи з рівняння (2.14) можна відійти від нескінченності та провести заміну на сумування експонент, що є комплексним.

Вищенаведені експоненти є періодичними та мають період:

$$\Omega(n) = \frac{2\pi}{n \cdot \Delta t} = 2\pi n F_s, \frac{\text{рад}}{c}, n = 1 \dots N - 1 \quad (2.15)$$

де F_s – частота здійснення дискредитації отриманого сигналу, Гц.

Виходячи з цього спектр отриманого сигналу можна описати рівнянням:

$$S(\omega_n) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \exp(-j\omega_n n) \quad (2.16)$$

Виходячи з цього, слід зауважити що дискретний сигнал є певного роду періодичності функції Фур'є.

2.5 Особливості використання методу Вейвлет-перетворення

Вейлет-перетворення в основному є сигналом лінійного типу. При цьому дані лінійні сигнали чітко відображають фізичні явища та процеси в електричних мережах.

Необхідно зазначити, що в порівнянні з іншими методами, метод Вейлет-перетворень є найбільш точним при виявленні різноманітних локальних сигналів та різних стрибків.

У перетвореннях типу Вейвлет використовуються ортогональні перетворення з певними величинами зсуву та масштабування на певні величини:

$$\Psi_{u,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-u}{s}\right) \quad (2.17)$$

За умови ортогонального перетворення у функціях часу та певним масштабуванням отримаємо вираз:

$$Wf(u, s) = \langle f, \Psi_{u,s} \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-u}{s}\right) dt \quad (2.18)$$

де $\langle f, \Psi_{u,s} \rangle$ – добуток, що за своєю суттю є скалярним.

Вейвлет-перетворення можна розглядати в аналізі сигналів, що дозволяє поступово збільшувати чи зменшувати його масштабування. При цьому особливостями сигналу може містити в своїй структурі основну інформаційну складову, що характеризує його в цілому.

При цьому зменшення масштабу сигналу призводить до певного згладжування сигналу. Можна припустити, що основний вейвлет у своїй масі нульових моментів належить функції з швидкоспадними похідними. Виходячи з цього можна сформулювати наступне рівняння:

$$\forall t \in R |\psi^{(k)}(t)| \leq \frac{C_m}{1+|t|^m} \quad (2.19)$$

Якщо, умова $f \in L^2(R)$ задовольняє вищенаведеній умові, то отримаємо:

$$\forall (u, s) \in [a, b] \cdot R^+ |Wf(u, s)| \leq As^{\frac{a+1}{2}} \quad (2.20)$$

Нерівність (2.20) є умовою певного спаду у випадку коли $s = 0$, або прямує до 0. Доцільно провести перевірку даного спотворення та розглянути результати (рис. 2.3).

При цьому задаймо вейвлетом у вигляді $\psi(t)$, з певними відрізками та масштабом a^j , то рівняння отримує наступний вигляд:

$$\psi_j[n] = \frac{1}{\sqrt{a^j}} \psi\left(\frac{n}{a^j}\right) \quad (2.21)$$

Зазначимо, що даний нульовий вейвлет не містить жодних нульових функцій.

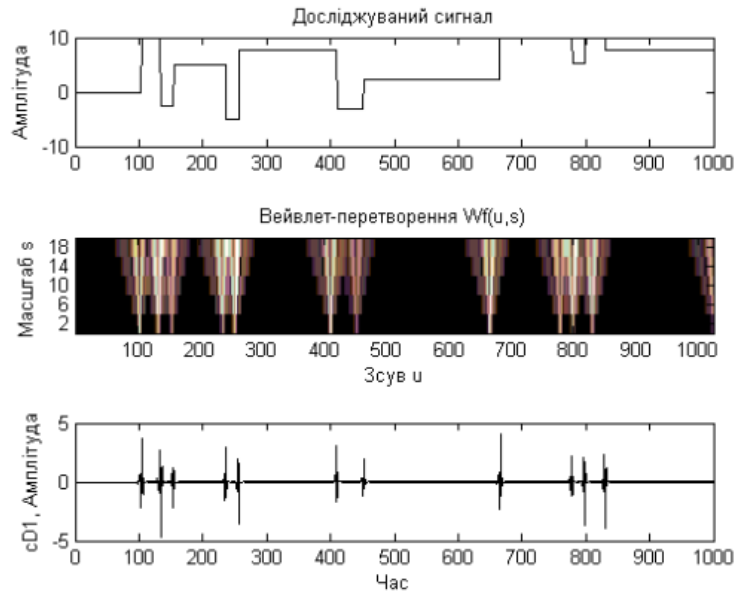


Рисунок 2.3 – Моделювання процесу Вейвлет-перетворення

За умови кожного масштабу представлення певних максимумів дає можливість отримання певного роду локальних максимумів.

2.6 Пропозиції по способу визначення якості електричної енергії

Із всього переліку способів аналізу сигналів нами виокремлено два з них, що найбільш краще здатні аналізувати сигнали з показниками якості електричної енергії.

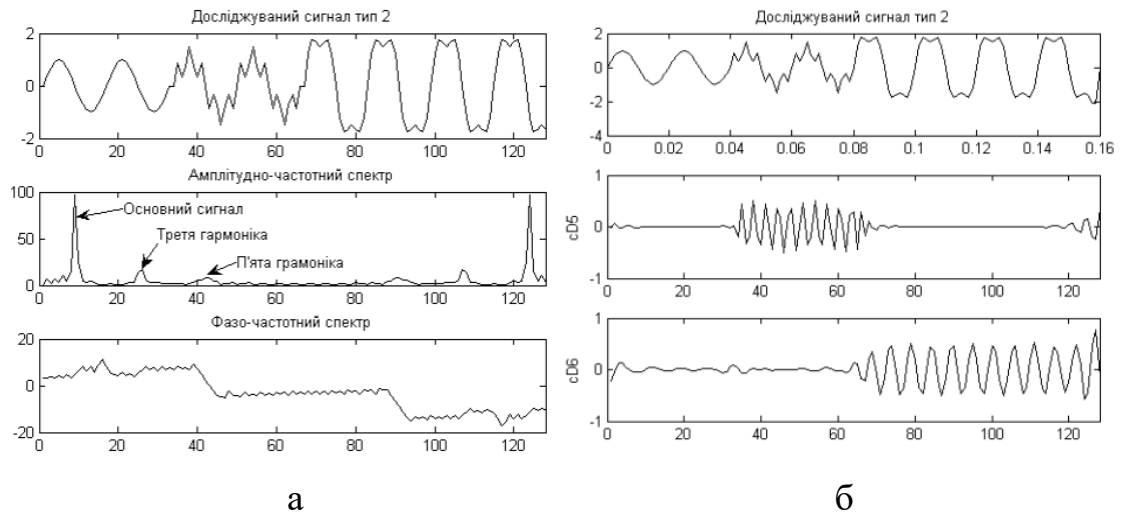
Першим методом, що обрано нами для аналізу є метод швидкого перетворення Фур'є. Даний метод плануємо для визначення складу гармонік в певному часовому ряді. При цьому використання планується з певними часовими мітками. Другим методом є метод Вейвлет-перетворення, що дозволяє більш точно проводити аналіз основних сигналів.

Виходячи з цього пропонується розглянути дані способи для аналізу певного ортогонального сигналу. Для прикладу пропонується провести аналіз сигналу з наступними показниками:

- основна частота – 50 Гц;
- третя гармоніка частоти – 150 Гц;
- п'ята гармоніка частоти – 250 Гц.

Основними результатами аналізу даного сигналу є наведені на рисунку

2.4 особливості перетворень сигналів.



а – використання швидкого перетворення методом Фур'є;

б- використання Вейвлет-перетворення.

Рисунок 2.4 – Графіки прорахунку сигналів з використанням запропонованих методів

Необхідно зазначити, що в результаті аналізу (рис. 2.4, а) з використанням швидкого перетворення методом Фур'є отримуємо підтвердження лише гармонік різних рівнів. Використання Вейвлет-перетворення показує певні спотворення в сигналі. При цьому даний метод (рис. 2.4, б) показує не лише спотворення, а і момент їх виникнення та момент їх затухання в різних гармоніках.

Виходячи з цього, можна сказати, що є необхідність розробки певного алгоритму проведення досліджень якості електричної енергії з використанням обраних методів для аналізу. Запропонована схема алгоритму наведена на рисунку 2.5.



n_0 – фільтр, що є низькочастотним;

n_1 – фільтр, що є високочастотним;

$f(t)$ – сигнал, що досліджується;

$cD1$ – коефіцієнт деталізації;

$cA1$ – коефіцієнт апроксимації для Вейвлет-перетворення.

Рисунок 2.5 – Запропонований алгоритм аналізу якості електричної енергії

З рисунку 2.5, бачимо, що сигнал, що аналізується проходить першочергово через фільтри. Далі враховуються коефіцієнти, що характеризують запропоновані методи аналізу якості електричної енергії та видається результат, який можна відправляти на подальший аналіз, або отримувати результати від аналізу двома методами.

При цьому запропонована схема аналіз доволі якісно відсікає більшу кількість різноманітних шумів сигналу, а отже результати дослідження якості електричної енергії мають підвищену точність.

За необхідності підвищення точності отриманого результату, або додаткового визначення інших типів спотворень. Для визначення інших спотворень доцільно користуватись вже іншими методами, що описані в попередньому розділі.

Висновки до розділу

Проведений більш детальний аналіз методів з особливостями аналіз сигналів, що здатні охарактеризувати якість електричної енергії дав можливість виокремити два основних варіанти методів: метод Вайвлет-перетворень та швидке перетворення методом Фур'є. Проведений попередній аналіз фрагменту сигналу розкриває основні особливості використання даних методів та дозволяє перекивати слабкі їх сторони. Додатковий аналіз різноманітних спотворень можливий за умови використання інших методів для додаткового аналізу, але в загальному результаті для визначення якості електроенергії достатнім є використання двох запропонованих сигналів.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Для проведення досліджень обраними методами необхідною умовою є використання різноманітного програмного забезпечення, що дозволяє аналізувати данні по завчасно створеним математичним моделям. До такого програмного забезпечення можна віднести Matlab або Simulink. При цьому необхідно зазначити, що основний показник для аналізу обрано напругу електричної мережі.

Для аналізу взято основні данні сигналів для умов АТ «Сумиобленерго». Проводився аналіз відхилення від номінального значення, а також аналіз спотворення отриманого сигналу. На рисунку 3.1 наведено основні результати аналізу сигналу запропонованим методом, з аналізом його переривання.

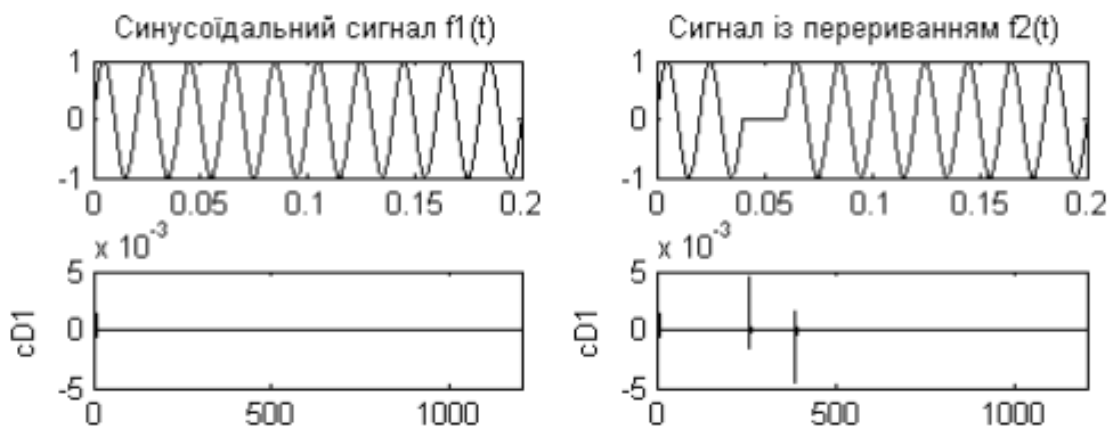


Рисунок 3.1 – Аналіз сигналу з перериванням без спотворень

Проведення дослідження відбувалось з використанням математичних моделей та алгоритму аналізу наведених в попередньому розділі. Відповідно до запропонованого алгоритму коефіцієнт деталізації дає можливість отримання чіткого початку та закінчення переривання сигналу.

Наступним варіантом, що потребує аналізу є аналіз сигналу з наявністю провалу, а також з певним відхиленням від номінального значення (рисунок 3.2).

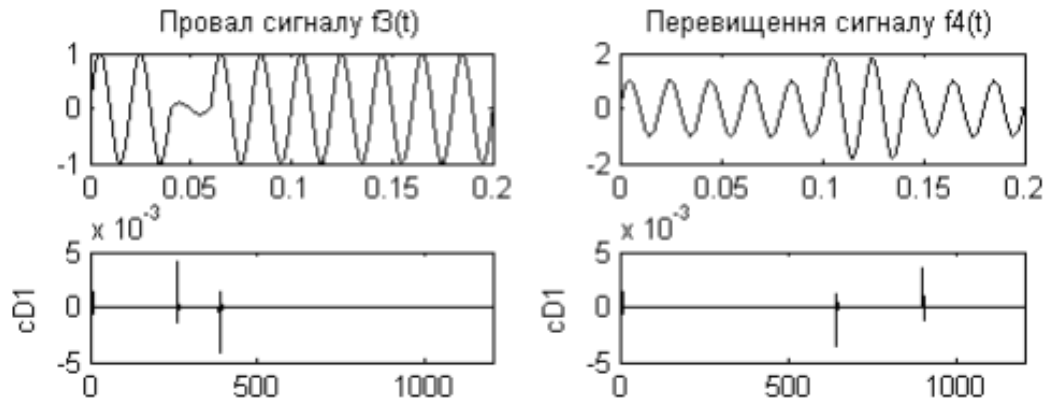


Рисунок 3.2 – Аналіз сигналу з провалами та відхиленням від номінального значення

З аналіз рисунку 3.2, бачимо, що застосування коефіцієнту деталізації також дає можливість отримати початок та кінець провалів та спотворень, що є доволі ефективним при аналізі.

Пропонуємо проаналізувати наявність певного роду гармонічних компонент, що зображені на рисунку 3.3.

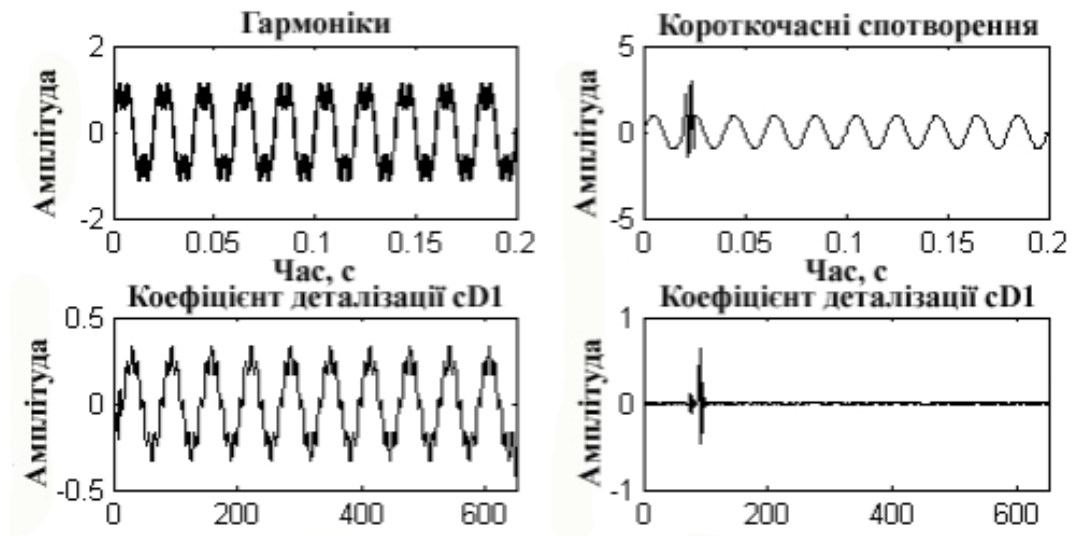


Рисунок 3.3 – Аналіз сигналу методом Вейвлет-перетворення з високочастотними гармоніками

Розглянемо також високочастотні повторювані типи спотворень. Сигнали подібного типу наведено на рисунку 3.4.

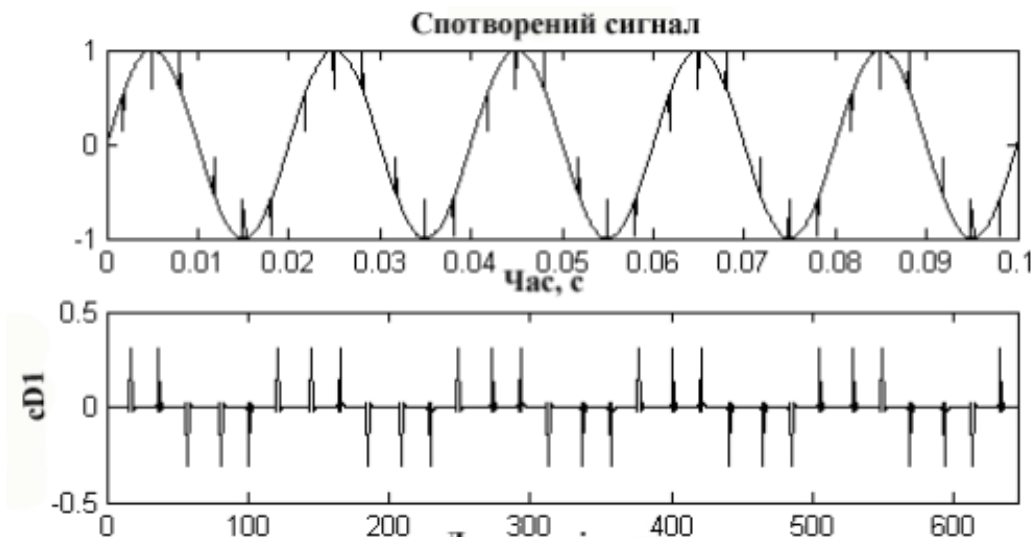


Рисунок 3.4 – Аналіз сигналу методом Вейвлет-перетворення, що має в своєму складі високочастотні спотворення

Також необхідно розглянути високочастотні спотворення з високими значеннями коефіцієнту Вейвлет-перетворення (рис. 3.5).

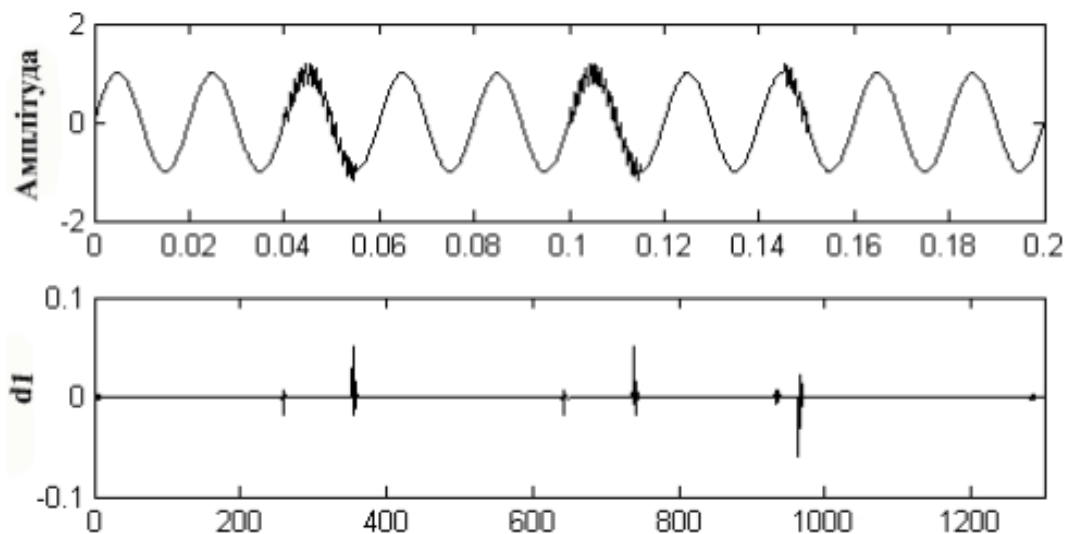


Рисунок 3.5 – Вейвлет-перетворення для високочастотних коливальних спотворень

Необхідно зазначити, що даний метод також дає можливість аналіз спотворення сигналу з різного роду гармоніками. Фактичний аналіз можна проводити до сьомої гармоніки. так на рисунку 3.6 наведено наявність різноманітних гармонік в сигналі.

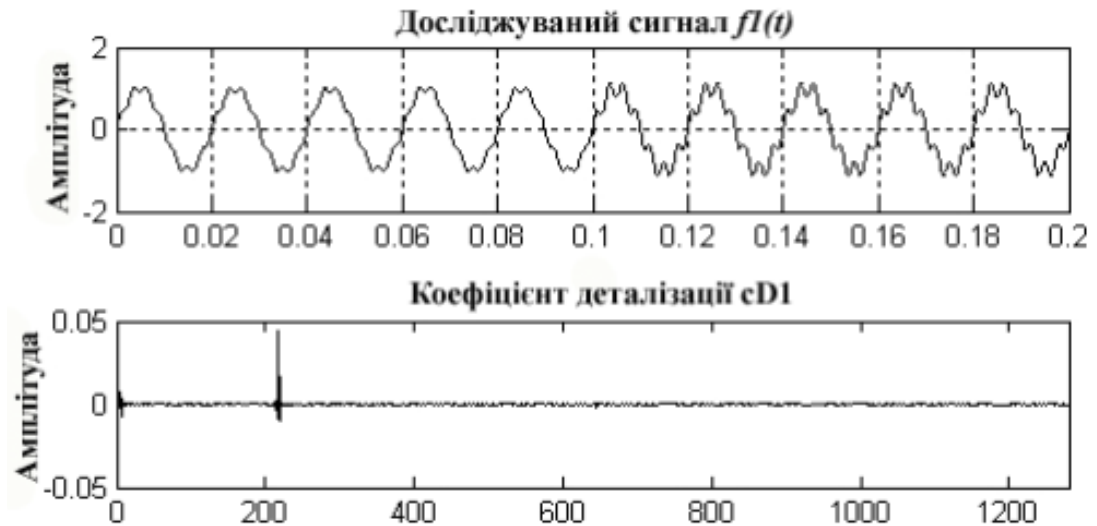


Рисунок 3.6 – Застосування методу Вейвлет перетворення сигналу з спотворенням гармоніками різної амплітуди

Необхідно зазначити, що фактично всі розглянуті спотворення в повній мірі характеризують якісні показники електричної енергії. При цьому, використання методу Вейвлет-перетворення потребує додаткового використання високочастотних та низькочастотних фільтрів для обробки сигналу, а отже реалізація даного підходу матиме вигляд схеми, що зображено на рисунку 3.7.

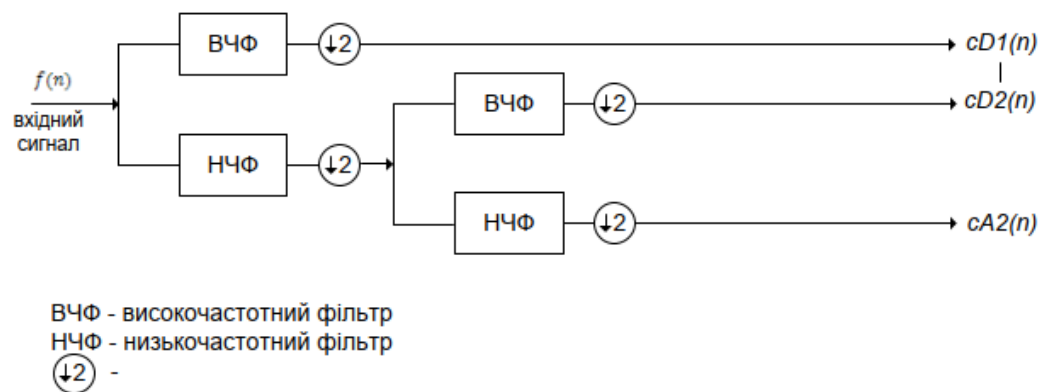


Рисунок 3.7 – Схема фільтрування вхідного сигналу для аналізу методом Вейвлет-перетворення

Схема фільтрування забезпечує фактично дворівневу систему фільтрування вхідного сигналу. При цьому основною причиною проведення такого фільтрування є отримання сигналу з мінімальною кількістю шумів та

перешкод, а отже визначення часу виникнення та закінчення спотворення є більш точним.

Висновки до розділу

Проведені дослідження визначення спотворень сигналу, що описує якість електричної енергії дає можливість якісного їх визначення з отриманням основних показників. Виходячи з цього запропоновані методи аналіз можуть підвищити точність визначення якісних показників електроенергії.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Галузь енергетики потребує великої уваги з боку різноманітних нормативних та правових основ в досягненні безпекової ситуації та дотримання норма та вимог охорони праці. Зазначимо, що виконання правил, вимог та заходів з охорони праці мають безпосередній вплив на травматизм працівників галузі та споживачів електричної енергії.

Основною проблемою в галузі енергетики з боку охорони праці є враження електричним струмом через недотримання правил поведінки з нею. Виходячи з цього необхідною умовою проведення досліджень є аналіз основних небезпек та правил поведінки з електричною енергією.

Оскільки робота в основному присвячена дослідженню показників якості електричної енергії, то необхідно зауважити, що даний показник має доволі суттєвий вплив на виникнення небезпек для людини.

Перш за все основною небезпекою для людини при погіршенні якості електричної енергії є зниження якості роботи освітлювальних приладів. Перш за все це мерехтіння, тусклість та інші параметри. Тривалий вплив на людину мерехтіння світла має доволі негативні явища пов'язані з психологічним станом людини та погіршенням стану її зору. В різних нормативних документах з охорони праці існує чітке обмеження перебування в приміщеннях з подібними явищами, а також обмеження робочого часу.

Іншими проблемними явищами є вихід з ладу різноманітного обладнання, що може призвести до перегрівів електродвигунів, різноманітних пошкоджень чи пожеж в наслідок коротких замикань.

Низька якість електричної енергії впливає також на ефективність роботи різноманітних нагрівальних електричних приладів на виробництві, що в результаті невиконання робочого процесу можуть призводити до виникнення травмонезпечних ситуацій на виробництві

Окрім проблем з якісними показниками електричної енергії є доволі високий рівень небезпеки, що надходить з боку військових дій на території області. Зазначимо, що подібна проблема впливає не лише на показники

якості, а і на втрату фахівців-енергетиків, що виконують роботи в небезпечних зонах.

Виходячи з вищенаведеного, до проведення основних робіт в енергетичній галузі допускаються працівники, які мають відповідну освіту, пройшли всі необхідні інструктажі та забезпечені необхідними засобами захисту та інструментом.

Виконання робіт обов'язково проводиться працівниками, що отримали наряд на проведення роботи. При цьому до роботи в установках не можна допускати працівників, що мають проблеми зі здоров'ям або знаходяться в стані алкогольного чи наркотичного сп'яніння. Виконання роботи працівником обов'язково підстраховується іншим працівником, а також контролюється та перевіряється бригадиром чи відповідальним керівником.

Виконання робіт проводиться лише справним електроінструментом та обладнанням, яке пройшло відповідну перевірку та має відповідні документи.

При проведенні аналізу якості електричної енергії необхідною умовою її забезпечення є постійний моніторинг при її генеруванні. В першому розділі магістерської роботи було описано доволі широко основні пристрої що використовуються для підтримання якісних параметрів на належному рівні. Необхідно зазначити, що підтримання їх працездатності виконується лише працівниками АТ «Сумиобленерго» або суміжними з ним підприємствами.

Необхідно зазначити, що на підприємстві існує доволі серйозний підхід до дотримання заходів з охорони праці. Для контролю за дотримання вимог охорони праці створено структурні підрозділи, що проводять навчання, інструктажі та підвищення кваліфікації для працівників підприємства.

Подібний рівень організації робіт та дотримання вимог дає фактично повну відсутність виникнення травмонебезпечних ситуацій на підприємстві, що знаходить відображення в їх роботі.

Висновок до розділу

Якісні показники електричної енергії мають безпеосередній вплив на всі сфери життя та діяльності людини. Особливої уваги заслуговує

підтримання їх на необхідному рівні описаному стандартами. Як і всі інші роботи, що проводяться в галузі енергетики, підтримання якісних показників потребує дотримання вимог охорони праці на всіх рівнях контролю. Чітке дотримання вимог з охорони праці зменшує рівень травматизму та виникнення небезпечних ситуацій в усіх галузях.

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ

Магістерська робота присвячена підвищенню точності визначення показників якості електроенергії, а отже доцільно розглянути саме ефект від застосування запропонованих методик аналізу. При цьому враховуємо також, що в результаті електричні споживачі працюють з відсутністю пошкоджень від неякісної електричної енергії.

Проведемо приблизне визначення основних економічних показників, що охарактеризують запропоновані рішення. Початковим етапом є визначення величини чистого прибутку від впровадження системи підвищення якості електричної енергії:

$$П_{ч.п.} = E_{річ} - \Delta\Pi_{м} - \Delta\Pi_{пр} \quad (5.1)$$

де $E_{річ}$ – економія величини затрат при експлуатації за річний період, грн;

$\Delta\Pi_{м}$ – показник приросту майна, грн;

$\Delta\Pi_{пр}$ – показник прибуткового приросту, грн.

$$E_{річ} = (E_{д}^{кр} \cdot C_{д}^{кд}) \frac{1}{n} + Z_e + (E_{бе} \cdot n) - \Delta AB \quad (5.2)$$

де $E_{д}^{кр}$ – економія пов'язана з відсутністю відшкодувань на електричне обладнання, що вийшло з ладу в результаті неякісної електричної енергії, грн;

ΔAB – приріст величини відрахувань для затрат на амортизацію;

$E_{бе}$ – величина економічного ефекту за рік, грн.

$$E_{д}^{кр} = e_{д}^{кр} \cdot a_{д}^{кр} \quad (5.3)$$

$$E_{д}^{кр} = 0,343 \cdot 20 = 6,86 \text{ грн}$$

$$\Delta AB = AB \cdot C_{ey} \quad (5.4)$$

$$\Delta AB = 0,05 \cdot 20000 = 1000 \text{ грн}$$

$$E_{6e} = \frac{A_d + P_d}{S} n_{\text{пр.в}} \left(\frac{k_{\text{пр}} - 1}{k_{\text{пр}}} \right) \quad (5.5)$$

$$E_{\text{річ}} = (6,86 \cdot 2500) \frac{1}{20} + 12 + (240 \cdot 20) - 1000 = 4670 \text{ грн}$$

$$\Delta \Pi_M = \Pi_M \frac{C_{ey} + 0,05 C_{ey}}{2} \quad (5.6)$$

де $\frac{C_{ey} + 0,05 C_{ey}}{2}$ – вартість впровадження запропонованих методів підвищення точності визначення показників якості електричної енергії, грн.

$$\Delta \Pi_M = 0,022 \frac{20000 + 0,05 \cdot 20000}{2} = 231 \text{ грн}$$

$$\Delta \Pi_{\text{пр}} = 0,24 (E_{\text{річ}} - \Delta \Pi_M) \quad (5.7)$$

$$\Delta \Pi_{\text{пр}} = 0,24 (4670 - 231) = 1065 \text{ грн}$$

$$\Pi_{\text{ч.п.}} = 4670 - 231 - 1065 = 3374 \text{ грн}$$

Величину економічного ефекту розраховуємо з рівняння:

$$E_p = \frac{\Pi_{\text{ч.п}} - K_{\text{дод}}}{K_p + K_e} \quad (5.8)$$

де $K_{\text{дод}}$ – затрати на проведення реноваційних заходів в розрахунку за рік, $K_{\text{дод}} = 267 \text{ грн}$;

K_p – коефіцієнт для врахування реноваційних заходів $K_p = 0,89$;

K_e – коефіцієнт для врахування основних приведених затрат, $K_e = 0,1$;

$$E_p = \frac{3374 - 267}{0,89 + 0,1} = 3226 \text{ грн}$$

Термін за який відбудеться повна окупність запропонованої методики підвищення точності визначення якості електроенергії знаходимо з виразу:

$$T_{ок} = \frac{C_{ey}}{E_p} \quad (5.9)$$

$$T_{ок} = \frac{20000}{3226} = 6,2 \text{ роки}$$

Таблиця 5.2 – Зведені показники економічної ефективності впровадження запропонованої системи підвищення якості електричної енергії

№ з/п	Показник	Значення
1	Чиста величина прибутку, грн	3374
2	Економія витрат пов'язаних з експлуатацією в розрахунку за рік, грн	4670
3	Значення економічного ефекту, грн	3226
4	Термін для окупності запропонованих рішень, років	6,2

Висновки до розділу

Виходячи з отриманих показників економічної ефективності запровадження запропонованих методів підвищення точності оцінки якісних показників електричної енергії можна сказати, що методика є окупною, але термін окупності є доволі великим – 6,2 роки. При цьому необхідно зауважити, що в розрахунок ефективності не було закладено відсутність затрат на компенсацію пошкодженого електрообладнання споживачів, що має певний непередбачуваний характер.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Необхідно зазначити, що нами розглянуто лише декілька пристроїв та основні їх принципи забезпечення якості електричної енергії. В реальності їх доволі велика кількість і призначення. Необхідно зауважити, що використання всіх пристроїв одразу несе за собою значні затрати на їх впровадження та подальшу експлуатацію. Виходячи з цього основною вимогою встановлення пристроїв регулювання показників якості електричної енергії залишається оптимізація якісних та вартісних показників електричної енергії.

2. Проведений більш детальний аналіз методів з особливостями аналіз сигналів, що здатні охарактеризувати якість електричної енергії дав можливість виокремити два основних варіанти методів: метод Вайвлет-перетворень та швидке перетворення методом Фур'є. Проведений попередній аналіз фрагменту сигналу розкриває основні особливості використання даних методів та дозволяє перекривати слабкі їх сторони. Додатковий аналіз різноманітних спотворень можливий за умови використання інших методів для додаткового аналізу, але в загальному результаті для визначення якості електроенергії достатнім є використання двох запропонованих сигналів.

3. Проведені дослідження визначення спотворень сигналу, що описує якість електричної енергії дає можливість якісного їх визначення з отриманням основних показників. Виходячи з цього запропоновані методи аналіз можуть підвищити точність визначення якісних показників електроенергії.

4. Якісні показники електричної енергії мають безпосередній вплив на всі сфери життя та діяльності людини. Особливої уваги заслуговує підтримання їх на необхідному рівні описаному стандартами. Як і всі інші роботи, що проводяться в галузі енергетики, підтримання якісних показників потребує дотримання вимог охорони праці на всіх рівнях контролю. Чітке дотримання вимог з охорони праці зменшує рівень травматизму та виникнення небезпечних ситуацій в усіх галузях.

5. Виходячи з отриманих показників економічної ефективності запровадження запропонованих методів підвищення точності оцінки якісних показників електричної енергії можна сказати, що методика є окупною, але термін окупності є доволі великим – 6,2 роки. При цьому необхідно зауважити, що в розрахунок ефективності не було закладено відсутність затрат на компенсацію пошкодженого електрообладнання споживачів, що має певний непередбачуваний характер.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматизовані системи обліку та якості електричної енергії Тесик Ю.Ф., Жаркін А.Ф., Новський Лазуренко О.П., Ходаківський А.М., Васильченко 516 с.
2. Цифровий облік електричної енергії з урахуванням показників її якості та визначенням відповідальності за погіршення / Монографія / Є.І. Сокол, Д.А., Гапон, О.Г., Гриб, А.О. та і загальною редакцією член-кореспондента НАН України, доктора технічних наук, професора Сокола Є. І. – Харків: ФОП Бровін О.В., 2021. -330 с.
3. Корчемний М. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / М. Корчемний, В. Федорейко, В. Щербань.– Тернопіль: Підручники і посібники, 2001.– 976 с.
4. Von Meier, Alexandra (2006). Electric power systems: a conceptual introduction. John Wiley & Sons. с. 1. ISBN 9780470036402.
5. Voltage Tolerance Boundary (PDF). pge.com. Pacific Gas and Electric Company. Архів оригіналу (PDF) за 1 квітня 2018.
6. Shertukde, Hemchandra Madhusudan (2014). Distributed photovoltaic grid transformers. CRC Press. с. 91. ISBN 978-1482247190. OCLC 897338163.
7. Harmonic filtering in a data center? [A Power Quality discussion on UPS design]. DataCenterFix.com. Архів оригіналу за 8 липня 2011.
8. Galli та ін. (Oct 1996). Exploring the power of wavelet analysis. IEEE Computer Applications in Power. IEEE. 9 (4): 37-41. doi:10.1109/67.539845.
9. Ribeiro та ін. (2001). An enhanced data compression method for applications in power quality analysis. IECON '01. Nov. 29-Dec. 2, 2001, IEEE, The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. Т. 1. с. 676-681. doi:10.1109/IECON.2001.976594.
10. Ribeiro та ін. (Apr 2004). An improved method for signal processing and compression in power quality evaluation. 2003 IEEE Power Engineering Society General Meeting (IEEE Cat. No.03CH37491). Т. 19. IEEE. с. 464-471. doi:10.1109/PES.2003.1270480. ISBN 0-7803-7989-6.

11. Kraus, Jan; Tobiska, Tomas; Bubla, Viktor (2009). Lossless encodings and compression algorithms applied on power quality datasets. CIRED 2009 - 20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution - Part 1. 20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, 8–11 June 2009. с. 1-4. ISBN 978-1-84919126-5.
12. IEEE 519-2014 - IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. standards.ieee.org.
13. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. www.nerc.gov.ua
14. Володарський Є.Т. Система моніторингу якості електричної енергії в децентралізованих системах електропостачання / Є.Т. Володарський, А.В. Волошко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – №. 318 (69). – С. 10–18.
15. Автоматизований комплекс визначення показників якості електроенергії / В. О.Мандзій, С. М. Бабюк, І. М. Сисак, В. В. Липницький. // Метрологія та прилади. – 2011. – №1. – С. 34–38.
16. Ward D.J. (2001). Power quality and the security of electricity supply. Proceedings of the IEEE, 89(12), 1830-1836.
17. Liang, Xiaodong. «Emerging power quality challenges due to integration of renewable energy sources.» IEEE Transactions on Industry Applications 53.2 (2016): 855-866.
18. Олійник Ю.С. Якість електричної енергії / Ю.С. Олійник // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. - 2018. - Вип. 196. - С. 113-115. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2018_196_42
19. Канабас Д.С., & Тимохін О.В. (2021). Якість електроенергії в електричних мережах України та світу. Міжнародний науково-технічний журнал «Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики», 24-27.
20. Євтух П.С. Сучасні методи діагностування якості електроенергії та покращення її показників / П.С. Євтух, О.О. Вакуленко, В.Р. Щербатюк // Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції

молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 27-28 листопада 2019 року. - Т : ТНТУ, 2019.

21. Оробчук Б.Я. Система управління регулятором якості електроенергії / Б.Я. Оробчук, А.П. Веремейчик // Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 28-29 листопада 2018 року.

22. Решетник В. Схемо-технічні рішення покращення якості електроенергії в мережах промислових підприємств / Віктор Решетник, Олександр Вакуленко, Валентин Коркулов // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» 22-24 травня 2018. – Т. : ТНТУ, 2018. – С. 272-273.

23. Monteiro Pereira R.M. FACTS performance in the dynamic voltage stability of an electric power system / R.M. Monteiro Pereira, Adelino J.C. Pereira, C.M. Machado Ferreira, F.P. Maciel Barbosa // 52nd International Universities Power Engineering Conference. – 2017. – Pp. 1-5.

24. Бунько В.Я. Аналіз електромагнітної сумісності системи «мережаактивний фільтр гармонік», яка впливає на якість електричної енергії [Електронний ресурс] / В.Я. Бунько // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. - 2015. - Вип. 209(1). - С. 105-112. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_tech_2015_209\(1\)_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_tech_2015_209(1)_17)