

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

Робота допущена до захисту

Зав. кафедри електроенергетики

_____ І. Л. Лебединський

" ____ " _____ 2021 р.

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Розробка алгоритмів та вимірювальної системи для визначення показників
якості електричної енергії в електричних мережах»

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеха-
ніка

Виконав студент гр. ЕТ.м-01

_____ М.С. Ніконов

Керівник, к.ф.-м.н, доцент

_____ М. В. Петровський

Консультант

з економічної частини, к.е.н., доцент

_____ О. М. Маценко

Нормоконтроль

_____ М. А. Никифоров

Суми – 2021

Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра електроенергетики
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою електроенергетики

_____ І. Л. Лебединський
” ” _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську роботу студента
Ніконова Миколи Сергійовича

1. Тема дипломної роботи: «Розробка алгоритмів та вимірювальної системи для визначення показників якості електричної енергії в електричних мережах»

затверджена наказом по університету № _____ від _____

2. Термін здачі студентом завершеної роботи 30.11.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Номінальна напруга та частота вихідного сигналу; 2. Кількість фаз електричної мережі; 3. Технічні характеристики плати збору даних NI USB-6009; 4. Методика визначення основних параметрів якості електроенергії.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити, основні розділи зі змісту)

Вступ; 1. Основна частина; 2. Розділ охорони праці; 3. Економічна частина; висновок; список використаної літератури; додатки

5. Перелік графічного матеріалу:

1. Позначення терміналів входу/виходу аналогових та цифрових сигналів; 2. Блок схема програми «PQI»; 3. Блок схема алгоритму «Метод визначення гармонік»; 4. Блок схема алгоритму «Розрахунок відхилення частоти»; 5. Блок схема алгоритму «Розрахунок відхилення напруги»; 6. Блок схема алгоритму «Розрахунок коефіцієнта несинусоїдальності»; 7. Блок схема алгоритму «Тимчасова перенапруга».

6. Консультанти:

Розділ	Керівник	Завдання ви- дав	Завдання прийняв
Економічна частина	Маценко О. М.		

7. Дата видачі завдання 13.09.2021 р.

Керівник роботи _____ М. В. Петровський

Завдання прийняв до виконання _____ М.С. Ніконов

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1.	Пошук та аналіз алгоритмів розрахунку основних показників якості електроенергії	13.09 – 25.09
2.	Налаштування плати збору даних NI USB – 6009 та розробка лабораторної вимірювальної установки	26.09 – 05.10
3.	Розробка алгоритму роботи програми «PQI»	06.10 – 20.10
4.	Розробка інтерфейсу програми «PQI»	21.10 – 10.11
5.	Охорона праці	11.11 – 15.11
6.	Економічна частина	16.11 – 20.11
7.	Оформлення креслень та пояснювальної записки	21.11 – 30.11

Студент-дипломник _____ М. С. Ніконов

Керівник роботи _____ М. В. Петровський

РЕФЕРАТ

с. 100, рис. 35, табл. 5, додатків 8, джерел 44.

Бібліографічний опис: Ніконов М.С. Розробка алгоритмів та вимірювальної системи для визначення показників якості електричної енергії в електричних мережах [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра; спец.: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / М.С. Ніконов; наук. керівник М. В. Петровський. – Суми: СумДУ, 2021. – 100 с.

Ключові слова: показники якості електроенергії, відхилення напруги, відхилення частоти, коефіцієнт гармонічної складової, коефіцієнт викривлення, тимчасова перенапруга амплітудно-частотний спектр, швидке перетворення Фур'є, дискретне перетворення Фур'є, другий метод Квіна, метод кореляційної функції, державний стандарт України

показатели качества электроэнергии, отклонение напряжения, отклонение частоты, коэффициент гармонической составляющей, коэффициент искривления, временное перенапряжение амплитудно-частотный спектр, быстрое преобразование Фурье, дискретное преобразование Фурье, второй метод Квина, метод корреляционной функции, государственный стандарт Украины
power quality indicators, voltage deviation, frequency deviation, harmonic component coefficient, distortion coefficient, time surge amplitude-frequency spectrum, fast Fourier transform, discrete Fourier transform, second Quinn method, correlation function method, state standard of Ukraine

Короткий огляд: в даній роботі розроблено та представлено алгоритми та комп'ютерна програма «PQI», що дозволяють розраховувати основні показники якості електричної енергії вимірюваних сигналів: відхилення амплітуди напруги та частоти, коефіцієнта n -ої гармонічної складової напруги, коефіцієнта викривлення синусоїдальної кривої напруги та тимчасової перенапруги у відповідності до вимог ДСТУ EN 50160:2014 та ГОСТ 13109-97.

В програмному продукту використано швидке перетворення Фур'є для пошуку амплітудно-частотного спектра. Для підвищення точності пошуку амплітуди, фази та частоти гармонік вихідного сигналу, використано другий метод Квіна та метод кореляційної функції.

В економічній частині розраховано собівартість програмного продукту із урахуванням економічних чинників, які впливають на його вартість.

В розділі охорона праці розраховано захисне заземлення для лабораторної установки, на якій проводилися вимірювання та дослідження програмного продукту.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ШПФ – швидке перетворення Фур'є

ДПФ – дискретне перетворення Фур'є

ДСТУ – державний стандарт України

ЯЕЕ – якість електричної енергії

ЕОМ – електронна обчислювальна машина

СЕЕР – рада Європейських органів регулювання в енергетиці

RQI – power quality identifies

ПУЕ – правила улаштувань електроустановок

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	10
1.1 ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА МЕТОДИ ЇХ ЗНАХОДЖЕННЯ	10
1.1.1 Зникнення напруги.....	11
1.1.2 Провал напруги	12
1.1.3 Перенапруга.....	14
1.1.4 Відхилення напруги	15
1.1.5 Електромагнітна перешкода	18
1.1.6 Імпульс напруги	18
1.1.7 Відхилення частоти.....	20
1.1.8 Тимчасова перенапруга	21
1.1.9 Несинусоїдальність напруги.....	22
1.2 ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є	26
1.2.1 Дискретне перетворення Фур'є (ДПФ).....	27
1.2.2 Швидке перетворення Фур'є (ШПФ).....	30
1.2.2.1 Алгоритм для ряду із 4 елементів	30
1.2.3 Алгоритм збільшення точності визначення частоти гармонік напруги сигналу.....	37
1.2.3.1 Другий метод Квіна	38
1.2.3.2 Метод кореляційної функції.....	40

					<i>МР 3.8.141.428 ЕТ.м-01 ПЗ</i>							
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	Розробка вимірювальної системи та програмного комплексу для збору та аналізу параметрів якості електроенергії			Лит.	Аркуш	Листів		
Розроб.	Ніконов								5	100		
Перевір.	Петровський							СумДУ ЕТ.м-01				
Реценз.												
Н. Контр.	Никифоров											
Затверд.	Лебединський											

1.3	СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ ДЛЯ ЗБОРУ ТА АНАЛІЗУ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	48
1.3.1	Система узгодження рівнів напруги	50
1.3.2	Плата збору даних.....	51
1.3.2.1	Блок аналогового входу	52
1.3.2.2	Схеми підключення аналогових сигналів	53
1.3.3	Програмний інтерфейс	55
1.3.3.1	App Designer – середовище розробки додатків	55
1.3.3.2	Програма «PQI»: початкове вікно.....	56
1.4	Висновок по розділу	70
2	РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	71
2.1	Розрахунок захисного заземлення.....	71
2.2	Висновок по розділу	75
3	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	76
3.1	Опис ідеї проекту, можливість приладу та вигоди користувача.....	76
3.2	Розрахунок кошторису витрат та часу на розробку вимірювальної системи та програмного продукту.....	77
3.3	Розрахунок заробітної плати виконавця робіт зі створення програмного продукту	80
3.4	Розрахунок витрат на утримання та експлуатацію персонального комп'ютера.....	81
3.5	Розрахунок собівартості програмного продукту	84
3.6	Розрахунок вартості (ціни) програмного продукту.....	85
3.7	Висновок по розділу	85
	ВИСНОВОК.....	86
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	87

ДОДАТКИ.....	92
ДОДАТОК А Позначення терміналів входу/виходу аналогових та цифрових сигналів.....	92
ДОДАТОК Б Блок схема програми «PQI»	94
ДОДАТОК В Блок схема алгоритму «Метод визначення гармонік»	95
ДОДАТОК Г Блок схема алгоритму «Розрахунок відхилення частоти»	96
ДОДАТОК Д Блок схема алгоритму «Розрахунок відхилення напруги»	97
ДОДАТОК Е Блок схема алгоритму «Розрахунок коефіцієнта несинусоїдальності».....	98
ДОДАТОК Є Блок схема алгоритму «Тимчасова перенапруга»	99
ДОДАТОК Ж Інтервали усереднення результатів вимірювань показників якості електроенергії.....	100

					<i>MP 3.8.14.1.4.28 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ВСТУП

Електрична енергія є універсальною і легко адаптованою для використання формою енергії. Її використовують, перетворюючи в інші форми енергії: теплову, світлову, механічну енергію, а також в різні електромагніті, електронні, акустичні та візуальні форми, які є основою сучасних телекомунікаційних, інформаційних технологій, а також технологій, що використовуються у розважальних заходах.

Електрична енергія, яку поставляють користувачам, має характеристики, які впливають на можливість використання її споживачами і які є неперемінні. Для її використання бажано, щоб напруга електропостачання мала незначну частоту, неспотворену синусоїдальну форму кривої та постійну амплітуду, але в реальних умовах експлуатації електричних мереж виникають режими, що характеризуються відхиленням своїх параметрів від номінальних значень. Дані режими істотно впливають на відхилення параметрів сигналу від номінальних значень. Допустимі та граничні значення відхилення цих параметрів нормуються у відповідності з ГОСТ 13109-97 та ДСТУ EN 50160:2014. У зв'язку з цим розробка автоматизованих вимірювальних систем показників якості електричної енергії з використанням цифрових приладів збору та обробки даних в реальному часі є актуальною задачею.

У даній роботі за допомогою електронного приладу збору даних фірми National Instrument USB-6009 та програмного пакету MatLAB розроблено вимірювальну систему та програму «PQI» для визначення основних показників якості електроенергії: відхилення амплітуди напруги та частоти, коефіцієнта n -ої гармонічної складової напруги й коефіцієнта викривлення синусоїдальної кривої напруги у відповідності до вимог ГОСТ 13109-97 та ДСТУ EN 50160:2014.

Для розрахунку основних параметрів якості електроенергії недостатньо знати тільки методи їх розрахунку у відповідності з ДСТУ. Для визначення напруги та частоти основної гармоніки, а також коефіцієнт n -ої гармонічної

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

складової напруги й коефіцієнта викривлення синусоїдальної кривої напруги використовується алгоритм дискретного перетворення Фур'є (ДПФ). Даний алгоритм використовується для пошуку амплітуди на відповідній частотній області і результатом є амплітудно-частотний спектр. Для проведення даного аналізу з використанням сучасної цифрової техніки використовується швидке перетворення Фур'є (ШПФ). Даний метод використовує властивості періодичності тригонометричної функції для того, щоб уникнути непотрібних розрахунків, які у свою чергу проводить ДПФ. ШПФ набув широкого практичного використання, у зв'язку з тим, що кількість операцій на визначення менша, а отже і кількість часу для розрахунку результату потрібна менша, отже ШПФ має високу ефективність та практичну значимість.

В методах Фур'є є один недолік – велика похибка у визначенні оцінки частоти. Даний недолік відноситься як до методу ДПФ, так і ШПФ. Похибка визначення частоти пов'язана з кратністю часу між вимірами сигналу та його періоду. У випадку, коли період аналогового сигналу не кратний відстані між вимірами дискретного сигналу, то методи Фур'є дають не вірні результати частоти існуючих гармонік. Тому, для визначення відхилення використовуються додаткові методи оцінки частоти. Такі методи бувають інтерполяційними та кореляційними. В роботі використано другий метод Квіна в якості інтерполяційного та метод кореляційної функції.

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
						9
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОСНОВНА ЧАСТИНА

1.1 ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА МЕТОДИ ЇХ ЗНАХОДЖЕННЯ

Якість електричної енергії - це ступінь відповідності фактичних значень параметрів електричної енергії встановленим ГОСТ 13109-97 значенням, основні з яких наведено у табл. 1.1 [1,2].

Таблиця 1.1 – Допустимі та граничні значення основних показників якості електроенергії

Найменування показника	Допустиме значення показника	
	Нормальне	Граничне
Відхилення напруги	± 5	± 10
Доза флікера		1,38
		1,00
Коефіцієнт спотворення синусоїдальної кривої напруги	8	12
Коефіцієнт гармонійної складової напруги	5	7,5
Несиметрія напруги, %	2	4
Тривалість провалу напруги, с		30
Відхилення частоти, Гц	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$

					<i>МР 3.8.141.428 ЕТ.м-01 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ніконов</i>			<i>Розробка вимірювальної системи та програмного комплексу для збору та аналізу параметрів якості електроенергії</i>	<i>Лит.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Петровський</i>					10	100
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ ЕТ.м-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Никифоров</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Лебединський</i>						

Установлено два види відхилення показників якості електроенергії: нормально допустимі та гранично допустимі. Оцінка відповідності електроенергії показникам якості електроенергії проводиться протягом 24 години на добу та 7 календарних днів у відповідності з нормам до ДСТУ EN 50160:2014 [2,3].

Основні неполадки живлення, які становлять небезпеку для роботи електрообладнання відповідно наведеної класифікації відображає вимоги міжнародного стандарту [1–3]:

Зникнення напруги (Power Failure, Loss of Voltage).

1. Провал напруги (Power Sag, Voltage Dip).
2. Перенапруга (Power Surge, Over Voltage).
3. Відхилення напруги (Brownout, Voltage Deviation).
4. Електромагнітна перешкода (Electrical Line Noise).
5. Імпульс напруги (High Voltage Spikes, Voltage Impulse).
6. Відхилення частоти (Frequency Variations, Frequency Deviation).
7. Тимчасова перенапруга (Switching Transient).
8. Несинусоїдальність напруги (Harmonic Distortion).

1.1.1 Зникнення напруги

Зникнення напруги – відсутність напруги в електромережі протягом більше двох періодів (40 мс). Наслідками зникнення напруги можуть бути: втрата, пошкодження даних на серверах і поточної інформації на робочих станціях, пошкодження файлової системи, порушення технологічного процесу, вихід з ладу апаратури [1].

На сьогоднішній день, переривання електропостачання за своєю природою непередбачувані та непостійні за місцем і часом. На цей час неможливо дати статистичні результати стосовно частоти переривань, що повністю охоплюють усі європейські мережі. У нормальних робочих умовах річна частота

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

переривань напруги, що перевищують три хвилини суттєво відрізняються між регіонами. Ця різниця має місце, окрім інших чинників, унаслідок відмінностей у побудові систем (тобто кабельні або повітряні лінії), у навколишньому середовищі та в кліматичних умовах .

У різних країнах існує національна статистика щодо переривань в електропостачанні, яка містить орієнтовні значення. Загальний звіт якості напруги, виданий Радою Європейських органів регулювання в енергетиці (CEER), містить певну статистику у деяких європейських країнах і огляд відповідних стандартів, що регламентують тривалі переривання. Під час порівняння статистичних даних стосовно тривалих переривань необхідно враховувати принципи узагальнення статистики подій [1, 3].

1.1.2 Провал напруги

Провал напруги – раптове зниження напруги в електричній мережі нижче величини 90% від номінального значення, за яким слідує відновлення напруги до початкового або близького до нього рівня за проміжок часу від десяти мілісекунд до декількох десятків секунд. Причиною провалу напруги можуть бути: включення енергоємного обладнання, запуск потужних електродвигунів, робота зварювальних апаратів. Можливі наслідки: скидання оперативної пам'яті; виникнення помилок, вихід з ладу апаратури, мерехтіння освітлення [1].

Даний показник електроенергії непередбачуваний та випадковий. Його частота за рік значно змінюється залежно від типу систем електропостачання й точки спостереження. Крім того, їх розподіл протягом року може бути дуже нерівномірним.

Оцінювання провалів напруги треба проводити відповідно до [2]. Метод аналізування провалів напруги (оброблення отриманих даних) залежить від цілей оцінювання. Зазвичай, для низьковольтної мережі, — якщо

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

розглядати трифазну систему, то застосовують поліфазне узагальнення результатів, що містить визначення еквівалентної події, яка характеризується однакою тривалістю й однакою остаточною напругою; — узагальнення подій у часі, яке охоплює визначення еквівалентної події у випадку, якщо відбувається послідовність з кількох подій; метод, що застосовують для узагальнення багаторазових подій, можна використовувати під час остаточного оброблення даних, кілька рекомендованих правил зазначені в [1, 3].

Провал напруги характеризується тривалістю провалу напруги Δt_{II} рис. 1.1, та розраховується наступним чином [2]:

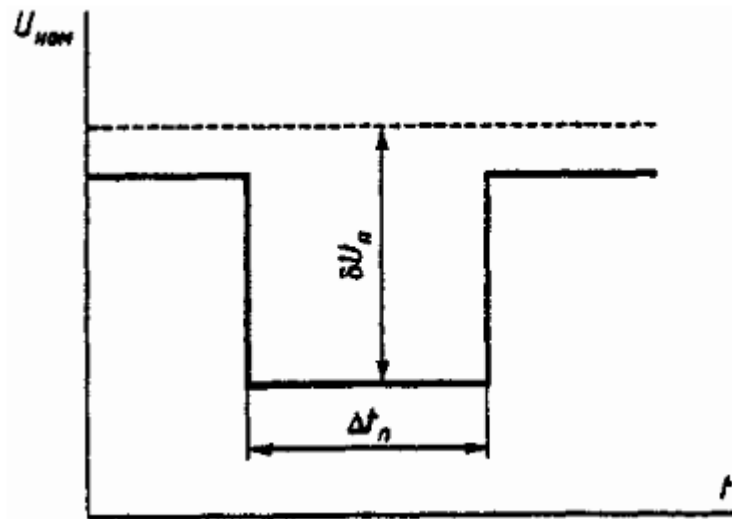


Рисунок 1.1 – Провал напруги

1. Фіксується початковий момент часу t_{II} різкого спаду, тривалістю не менше 10 мс, який огинає середньоквадратичні значень напруги, визначених на кожному півперіоді основної частоти, нижче $0,9U_{ном}$.
2. Фіксують кінцевий момент часу t_K усталеного середньоквадратичного значення напруги до $0,9U_{ном}$.
3. Розраховується тривалість провалу перенапруги Δt_{II} в секундах за наступною формулою(1.1) [2]:

					MP 3.8.14.1.428 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

$$\Delta t_{II} = t_k - t_n, \quad (1.1)$$

де t_k, t_n - початковий і кінцевий моменти часу провалу напруги.

Якість електричної енергії за тривалістю провалів напруги в точці загальної приєднання вважають відповідним вимогам цього стандарту, якщо найбільша з усіх вимірених протягом тривалого періоду спостереження (зазвичай протягом року) тривалість провалів напруги не перевищує гранично допустимого значення. Відповідно до ГОСТ [2] допускається визначати максимально можливу тривалість провалу в точці приєднання до електричної мережі шляхом розрахунку сумарної витримки часу пристроїв релейного захисту, автоматики та комутаційних апаратів, встановлених у відповідних електричних мережах енергопостачальної організації. Якщо знайдена в такий спосіб тривалість провалу напруги вбирається у гранично допустимого значення, то якість електричної енергії за тривалістю провалів напруги вважають відповідним вимогам ГОСТ та ДСТУ [2,3].

1.1.3 Перенапруга

Перенапруга – раптове підвищення напруги в електричній мережі вище величини 110% від номінального значення, за яким слідує відновлення напруги до початкового або близького до нього рівня за проміжок часу від десяти мілісекунд до декількох десятків секунд. Причиною виникнення перенапруги може бути відключення енергоємного обладнання. Можливі наслідки: скидання оперативної пам'яті; виникнення помилок, вихід з ладу апаратури, мерехтіння освітлення [1].

Оцінку випадків перенапруги треба проводити відповідно до EN 61000-4-30. Метод аналізування перенапруги (оброблення отриманих даних) залежить від мети оцінювання. Зазвичай, для низьковольтної мережі: — якщо розглядати трифазну систему, то застосовують узагальнення результатів,

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

що містить визначення еквівалентної події, яка характеризується однаковою тривалістю й однаковою середньоквадратичною величиною максимальної напруги. Узагальнення подій у часі, яке охоплює визначення еквівалентної події у випадку, якщо відбувається послідовність з кількох подій; метод, що застосовують для узагальнення багаторазових подій, можна використовувати під час остаточного оброблення даних, кілька рекомендованих правил зазначено в IEC/TR 61000-2-8 [1, 3].

Якщо проводити аналіз електроенергії за даним показником, то аналіз та збирання статистичних даних перенапруги має бути проаналізувати згідно з табл.1.2, яку наведено нижче [1].

Таблиця 1.2 – Класифікація перенапруги за максимальною напругою та тривалістю

Перенапруга, %	Тривалість, мс		
	$10 \leq t \leq 500$	$500 < t \leq 5000$	$5000 < t \leq 60000$
$u \geq 120$	елемент S1	елемент S2	елемент S3
$120 > u > 110$	елемент T1	елемент T2	елемент T3

1.1.4 Відхилення напруги

Відхилення напруги – відхилення (зниження, підвищення) напруги в мережі від допустимих стандартом значень на тривалий час (більше десятків секунд). Виникає зазвичай через зростання споживання електроенергії в певні періоди часу при обмеженій потужності джерела електроенергії або довгих лініях електроживлення.

Можливі негативні наслідки: додаткові втрати потужності в стабілізаторах, скорочення терміну служби блоків живлення, збоїв у виконанні програм [1].

Відхилення напруги характеризується показниками усталеного відхилення напруги, для яких установлені такі норми [1, 2]:

- нормально допустимі і гранично допустимі значення відхилення напруги на виводах споживачів δU_y електричної енергії рівними відповідно $\pm 5\%$ та $\pm 10\%$ від нормальної напруги електричної мережі (номінальної напруги);

- нормально допустимі та гранично допустимі значення усталеного відхилення напруги в точках загального з'єднання користувачів електричної енергії в електричних мережах напругою 0,38 кВ.

Вимірювання усталеного значення відхилення напруги δU_y проводять наступним чином [2, 4]:

1. Для кожного i -го виміру за період часу, рівний 24 годинам, вимірюють значення напруги, яке в електричних мережах однофазного струму визначається як діюче значення напруги основної частоти $U_{(1)i}$ в вольтах, кіловольтах, без врахування вищих гармонік складової напруги, а в електричних мережах трифазного струму – як діюче значення напруги прямої послідовності основної частоти $U_{1(1)i}$, яке визначаємо за формулою (1.2) [2]:

$$U_{1(1)i} = \sqrt{\frac{1}{12} \left[a^2 + \left(\frac{U_{BC(1)i}^2 - U_{CA(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} \right)^2 \right]} \quad (1.2)$$

де $a = \sqrt{3}U_{AB(1)i} + \sqrt{4U_{AB(1)i}^2 - \left(\frac{U_{BC(1)i}^2 - U_{CA(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} + U_{AB(1)i} \right)^2}$;

$U_{AB(1)i}$, $U_{BC(1)i}$, $U_{CA(1)i}$ - діючі значення міжфазної напруги основної частоти при i -му виміру у В, кВ.

При цьому, відповідно до [2, 3], допускається:

- 1) визначати $U_{(1)i}$ методом симетричних складових;
- 2) визначати $U_{(1)i}$ за наближеною формулою (1.3) [2]:

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

$$U_{1(1)i} = \frac{1}{3}(U_{AB(1)i} + U_{BC(1)i} + U_{CA(1)i}) \quad (1.3)$$

При даному визначенні значення $U_{1(1)i}$ із використанням формули (1.2) замість (1.1), відносна похибкою не повинна бути більшою 0,1% при коефіцієнті несиметрії напруги по зворотної послідовності не більше 6%.

3) вимірювати замість діючого значення фазного та міжфазного значення напруги основної частоти в електричних мережах, напругу із врахуванням гармонічних складових при коефіцієнті несинусоїдальності не більше 5%.

2. Усереднене значення напруги U_y визначають в вольтах та кіловольтах, як результат усереднення N спостережень напруги $U_{(1)i}$ та $U_{1(1)i}$ за інтервал часу 1 хвилина за формулою (1.4) [2]:

$$U_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N U_i^2}{N}} \quad (1.4)$$

де U_i – значення напруги $U_{(1)i}$ чи $U_{1(1)i}$ в i -му спостереженні.

Число спостережень за 1 хвилину повинно бути не менше 18 [2].

- Усталене значення відхилення напруги δU_y у відсотках за формулою (1.5) [2]:

$$\delta U_y = \frac{U_y - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100 \quad (1.5)$$

де $U_{ном}$ – номінальна між фазна (фазна) напруга В, кВ.

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

1.1.5 Електромагнітна перешкода

Електромагнітна перешкода – це виникнення у мережі високочастотних імпульсів, що накладаються на синусоїдальну форму напруги. Основними причинами виникнення електромагнітних перешкод є робота потужних електродвигунів, перемикання релейної апаратури і силової комутаційної електроніки, мовлення суміжних станцій, магнітні бурі.

Можливі наслідки – виникнення помилок, скидання оперативної пам'яті, "зависання" операційної системи, вихід з ладу накопичувачів на жорстких дисках [1].

1.1.6 Імпульс напруги

Імпульс напруги – це короткочасне перевищення напруги вище 110% від номінального значення тривалістю 10-50 мкс (з часом фронту імпульсу 1-10 мкс). При цьому, амплітуда імпульсів перенапруги може досягати величин 6000 В. Причиною їх появи можуть бути удари блискавок, розряди статичної електрики. Такі високовольтні імпульси з дуже крутим переднім фронтом без перешкод минають захисні фільтри блоків живлення ЕОМ і потрапляючи в кола системних плат, викликають скидання оперативної пам'яті і вихід з ладу мікросхем [1].

Відповідно до [2], імпульс напруги характеризується U_{im} , у вольтах
рис. 1.2.

					MP 3.8.14.1.428 ПЗ	Арк.
						18
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

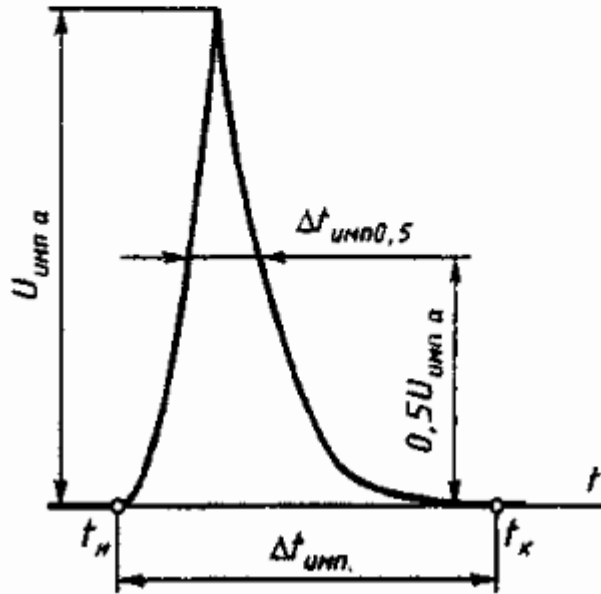
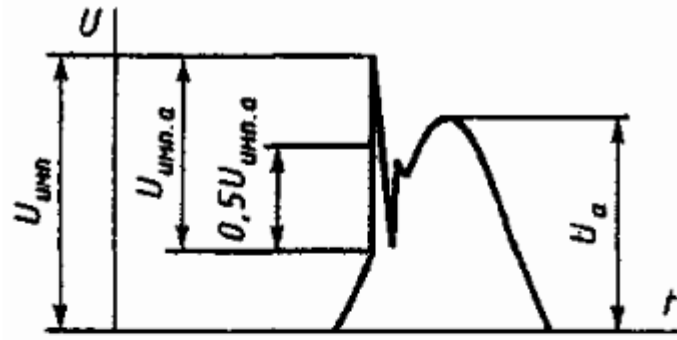


Рисунок 1.2 – Параметри імпульсної напруги

Для визначення значення імпульсної напруги спочатку проводиться вимірювання амплітудного значення напруги та визначається максимальне значення напруги за півперіод. При різкому його зміні значення напруги, виділяють із загальної кривої напруги імпульс напруги і визначають амплітуду даного імпульсу. Далі, визначається момент часу $t_{н0,5}$, $t_{к0,5}$ в мілісекундах за формулою (1.6) [2]:

$$\Delta t_{имп0,5} = t_{к0,5} - t_{н0,5} \quad (1.6)$$

де $t_{н0,5}$ – початковий час імпульсу;

$t_{к0,5}$ – кінцевий час імпульсу.

									Арк.
									19
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Імпульсні напруги з'являються внаслідок комутацій в електричній мережі. Заходи щодо зниження імпульсних напруги повинні передбачатися при розробці конкретних проектів електропостачання. Допустимі значення імпульсної напруги ГОСТ не вказує [5].

1.1.7 Відхилення частоти

Відхилення частоти - відхилення частоти на величину більше 0,2 Гц від номінального значення (50 Гц). Причиною появи можуть бути: нестабільність джерела електроенергії, нестабільність частоти обертання ротора дизель-генератора. Можливі наслідки: перегрів і вихід з ладу блоків живлення, «зависання» операційної системи, програмного збою, втрата даних [1].

Вимірювання та розрахунок відхилення частоти Δf проводять наступним чином [1, 2]:

1. Для кожного i - го спостереження за усталений період часу вимірюють діюче значення частоти f_i в герцах.

2. Розрахунок усередненого значення частоти f_y в герцах як результат усереднення спостереження f_i за проміжок часу, рівний 20 с, за формулою (1.7):

$$f_y = \frac{\sum_{i=1}^N f_i}{N}. \quad (1.7)$$

Кількість спостережень N повинно бути не менше 15 [2].

3. Значення відхилення частоти Δf в герцах визначають за формулою (1.8) [2]:

					MP 3.8.14.1.428 ПЗ	Арк.
						20
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta f = f_y - f_{ном} \quad (1.8)$$

де $f_{ном}$ – номінальне значення частоти, Гц.

4. У даному випадку, якість електричної енергії за відхиленням частоти вважають відповідно вимогам стандарту, якщо всі виміряні протягом 24 год значення відхилень частоти знаходяться в інтервалі гранично допустимих значень. Крім того, ці значення повинні бути не менше 95% відповідно [2, 3], всіх вимірних значень відхилення частоти, та знаходитися в інтервалі, обмеженому нормально допустимими значеннями.

При цьому якість електричної енергії за відхиленням частоти вважають задовільною вимогам стандарту, якщо сумарна тривалість часу виходу за нормально допустимі значення становить не більше 5% від встановленого періоду часу, тобто 1 год 12 хв, а за межі допустимі значення – 0% [2].

1.1.8 Тимчасова перенапруга

Тимчасова перенапруга – це короткочасне перевищення напруги вище 110% від номінального значення тривалістю 1000-5000 мкс. При цьому, амплітуда імпульсів перенапруги може досягати величин 4500 В. Причиною їх появи є комутаційні процеси потужнострумівих кіл електропостачання, іскріння комутаційних апаратів. Можливі наслідки: скидання оперативної пам'яті і вихід з ладу мікросхем [1].

Визначення коефіцієнта тимчасової перенапруги $K_{перU}$ здійснюється у відносних одиницях. Для початку вимірюють амплітудне значення напруги U_a у вольтах або кіловольтах на кожному півперіоді основної частоти при різкому перевищенні рівня напруги $1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{ном}$. Далі, визначають максимальне амплітудне значення напруги U_{amax} . Потрібно пам'ятати, для виключення впливу комутаційного імпульсу на значення коефіцієнта перенапруги тимчасової

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

перенапруги вимірювання U_{amax} проводити після 0,04 с від початку підвищення напруги рівня $1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{ном}$ [2].

На другому етапі визначаємо коефіцієнт тимчасової перенапруги за формулою (1.9) [2]:

$$K_{перU} = \frac{U_{amax}}{\sqrt{2} \cdot U_{ном}} \quad (1.9)$$

Третім етапом визначаємо тривалість тимчасової перенапруги $\Delta t_{пер}$ в секундах. Для цього, фіксуємо момент часу $t_{нпер}$ - початок перенапруги, час коли напруга вийшла за межі $1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{ном}$ та момент часу $t_{кпер}$ - час спаду напруги до рівня $1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{ном}$. Тимчасова перенапруга $\Delta t_{пер}$ - визначається за формулою (1.10) [2]:

$$\Delta t_{пер} = t_{кпер} - t_{нпер} \cdot \quad (1.10)$$

1.1.9 Несинусоїдальність напруги

Несинусоїдальність напруги – характеризується двома основними показниками [2]:

1. Коефіцієнтом спотворення синусоїдальної кривої напруги (струму) – відношення діючих значень суми вищих гармонік напруги (струмів) до діючого значення напруги (струму) основної гармоніки або у спрощеному варіанті до номінальної напруги (струму).

2. Коефіцієнтом гармоніки напруги (струму) – відношення діючого значення аналізованої гармоніки напруги (струму) до діючого значення змінної напруги (струму) або у спрощеному варіанті до номінальної напруги (струму).

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
						22
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крім перерахованих використовуються такі показники якості електроенергії, як: коефіцієнти форми і амплітуди кривих змінної напруги (струму), гармоніка напруги (струму), джерело гармонік напруги, струму, гармонійний резонанс. Небезпеку для електрообладнання представляють спотворення синусоїдальної кривої напруги більше 8% або наявність в кривій напруги гармонійних складових напруги непарного (парного) порядку, з коефіцієнтом гармоніки більше 5%. Причиною їх появи є наявність споживачів з нелінійним навантаженням, таких як комп'ютери, тиристорні перетворювачі. При цьому поряд із спотворенням відбувається генерування значного потоку реактивної потужності в зовнішню електромережу, що погіршує якість роботи інших споживачів електроенергії та вимагає використання пристроїв автоматичної компенсації реактивної потужності або інших пристроїв, що коректують форму вхідного струму [1].

Вимір коефіцієнта n -ої гармонічної складової напруги $K_{(n)i}$ проводять для міжфазної (фазної) напруги. Для кожного i -го виміру за період часу, що дорівнює 24 год, визначають діюче значення напруги n -ої гармонічної складової напруги $K_{(n)i}$ у відсотках як результат i -го виміру за формулою (1.11) [2]:

$$K_{U(n)i} = \frac{U_{(n)i}}{U_{1(i)}} \cdot 100, \quad (1.11)$$

де $U_{(n)i}$ – діюче значення напруги основної напруги на i -ому спостереженні в вольтах (кіловольтах).

При цьому, допускається вимірювати даний показник за наступною формулою (1.12) [2]:

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
						23
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{U^{(n)}i} = \frac{U^{(n)i}}{U_{ном}} \cdot 100. \quad (1.12)$$

Значення коефіцієнта n -ої гармонічної складової напруги $K_{U^{(n)}i}$. $K_{(n)i}$ визначають у відсотках як усереднення спостережень за інтервал часу T рівний 3 с, за наступною формулою (1.13) [2]:

$$K_{U^{(n)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (K_{U^{(n)}i})^2}{N}}. \quad (1.13)$$

При цьому, кількість спостережень N на даному інтервалі повинно бути не менше 9 [2].

Якість електричної енергії по коефіцієнту n -ої гармонічної складової напруги в точці загального приєднання вважають задовільною вимогам теперішнього стандарту, якщо найбільше із усіх виміряних протягом 24 год значень коефіцієнтів n -ої гармонічної складової напруги не перевищує гранично допустимого значення, а значення коефіцієнта n -ої гармонічної складової напруги, відповідне 95% за встановлений період часу, не перевищує нормально допустимого значення [2, 3].

Якість електричної енергії за коефіцієнтом n -ої гармонічної складової напруги вважають відповідним вимогам стандарту, якщо сумарна тривалість часу виходу за нормально допустимі значення становить не більше 5 % від встановленого періоду часу, тобто 1 год 12 хв, а за гранично допустимі значення – 0 % від даного періоду часу [2].

Визначення коефіцієнта викривлення синусоїдальної кривої напруги K_U проводять наступним чином [2]:

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

1. Для кожного i -го спостереження за усталений період часу визначають діюче значення гармонічних складових напруги в діапазоні гармонік від 2-ої до 40-ої в вольтах та кіловольтах.

2. Значення викривлення синусоїдальної кривої напруги K_U для i -го спостереження знаходять за наступною формулою (1.14) [2]:

$$K_{Ui} = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^{40} (U_{(n)i})^2}{U_{(1)i}}} \cdot 100, \quad (1.14)$$

де $U_{(1)i}$ - діюче значення міжфазної (фазної) напруги основної частоти для i - го спостереження, В (кВ).

3. При визначенні даного показника допускається:

- 1) не враховувати гармонічні складові, значення яких менше 0,1 %;
- 2) визначати даний показник за формулою (1.15) [2]:

$$K_{Ui} = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^{40} (U_{(n)i})^2}{U_{ном}}} \cdot 100. \quad (1.15)$$

При цьому відносна похибка визначення даного показника повинна бути рівною значенню напруги $U_{(1)i}$ від $U_{ном}$.

4. Коефіцієнт викривлення синусоїдальної кривої напруги K_U для i - го спостереження визначається як результат усереднення N спостережень за інтервал часу, рівний 3 с, за наступною формулою [2]:

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$K_U = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (K_{Ui})^2}{N}} \quad (1.16)$$

При цьому, кількість спостережень N на даному інтервалі повинно бути не менше 9 [2].

5. Якість електричної енергії по коефіцієнту спотворення синусоїдальної кривої напруги в точці загального приєднання вважають відповідним вимогам, якщо найбільше з усіх вимірних протягом 24 год значень коефіцієнтів спотворення синусоїдальної кривої напруги не перевищує гранично допустимого значення, а значення коефіцієнта спотворення синусоїдальної кривої напруги, відповідне 95% за встановлений період часу, не перевищує нормально допустимого значення [2, 3].

В табл. Таблиця 1.3 наведені нормально та гранично допустимі значення коефіцієнта викривлення синусоїдальної кривої напруги [1, 2, 6].

Таблиця 1.3 – Значення коефіцієнта викривлення синусоїдальної кривої напруги, у відсотках

Нормально допустимі значення при $U_{ном}$, кВ				Гранично допустимі значення при $U_{ном}$, кВ			
0,38	6-20	35	110-330	0,38	6-20	35	110-330
8,0	5,0	4,0	2,0	12,0	8,0	6,0	3,0

1.2 ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є

Французький математик Фур'є (Ж.Б.Ж. Фур'є) висунув достатньо сміливу гіпотезу для свого часу. Відповідно до неї, не існує функції, яку б не можна було розкласти в тригонометричний ряд. Тобто, періодичний сигналлюбої форми можна розкласти на синусоїди різних частот, або ж відповідного

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

складення тих самих синусоїд із різними частотами можна отримати сигнал, якої завгодно форми [7, 8].

Існує два основних типи дискретного перетворення Фур'є (ДПФ): дійсний ДПФ і комплексний ДПФ. Рівняння, представлені у формулі (1.25), описують комплексне ДПФ, де вихідні та кінцеві значення є комплексними числами. Так як вихідні значення у часовій області є дійсними і не мають уявної частини. Уявна частина вихідних даних завжди приймається рівною нулю. Результат ДПФ містить дійсні і уявні компоненти, які можуть бути перетворені в амплітуду і фазу вихідного сигналу [7–9].

Дійсний ДПФ є спрощенням комплексного ДПФ. Більшість алгоритмів обчислення швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) складено з використанням формату комплексного ДПФ.

Результат обчислень в частотній області відповідає частотному діапазону, рівному половині частоти дискретизації f_s [7].

1.2.1 Дискретне перетворення Фур'є (ДПФ)

Будемо вважати, що ряд з N числових значень сигналу, вибраних на інтервалі як показано на рис. 1.3 має вид за формулою (1.17) [8]:

$$\{y_0, y_1, y_2, \dots, y_{n-1}\} \quad (1.17)$$

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

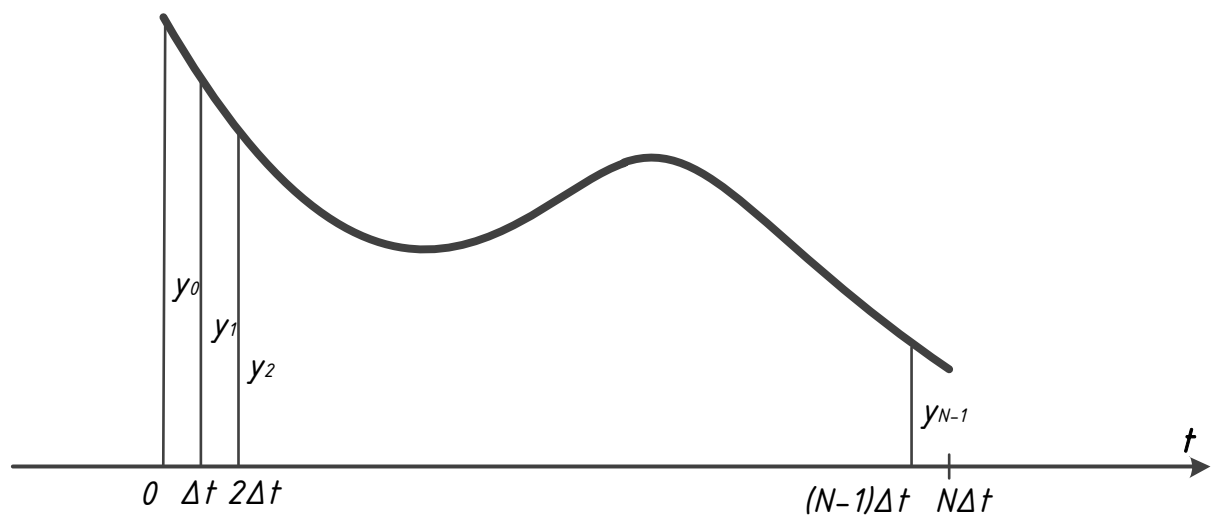


Рисунок 1.3 – Вид N значень сигналу

Тепер, позначимо інтервал дискретизації вибірки сигналу як Δt . Основний період такого сигналу матиме вигляд $N\Delta t$. Вважаючи сигнал періодичною функцією розкладемо його в ряд Фур'є. Комплексні коефіцієнти Фур'є періодичної функції $y(t)$ з періодом 2π можна отримати скалярним множенням двох векторів $y(t)$ та e^{jkt} , як показано у формулі (1.18) [7, 8]:

$$C_k = \langle y(t), e^{jkt} \rangle \quad (1.18)$$

В даному випадку, основна задача тепер у визначенні коефіцієнтів Фур'є даного N -мірного вектора, представлений рядом з N значень сигналу, як показано у формулі (1.19) [7, 8]:

$$y = \{y_0, y_1, y_2, \dots, y_{n-1}\} \quad (1.19)$$

Для того щоб отримати коефіцієнти, потрібно із заданого вектора задати такий, котрий відповідає системі ортонормованих функцій e^{jkt} , а скалярний добуток цього вектора та вектора y визначить необхідні коефіцієнти Фур'є дискретного значення. Іншими словами, якщо N -мірний вектор e^{jkt} позначити

як e_k , компоненти якого являються комплексні числа, то коефіцієнти Фур'є для y вектора можна визначити наступною формулою (1.20) [7,8]:

$$C_k = \langle y, e_k \rangle \quad (1.20)$$

Тому, для визначення вектора e_k , запишемо вираз із визначення функцій комплексного числення, як показано у формулі (1.21) [8]:

$$e^{jkt} = \cos(kt) + j \sin(kt) \quad (1.21)$$

Цей вираз належить N -мірному вектору, компоненти якого є вибірки e^{jkt} з інтервалом $2\pi/N$. Тепер, позначивши $\Delta\omega = 2\pi/N$ отримаємо вектор, як показано у формулі (1.22) [8]:

$$e_k = (1, e^{jk\Delta\omega}, e^{j2k\Delta\omega}, \dots, e^{j(N-1)k\Delta\omega}) \quad (1.22)$$

Далі, вектор y можна розкласти по ортонормованому базису згідно формули (1.23) [8]:

$$y = \sum_{k=0}^{N-1} C_k e_k \quad (1.23)$$

Тепер, коефіцієнти C_k можна визначити через скалярний добуток двох векторів y та e_k , за формулою (1.24) [8]:

$$C_k = \langle y, e_k \rangle \quad (1.24)$$

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Підставимо у даний вираз попередньо знайдені формули (1.22), (1.23), (1.24) та отримаємо вираз (1.25) [8]:

$$C_k = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} y_i e^{-j(2\pi/N)ki} \quad (k = 0, 1, 2, \dots, N-1) \quad (1.25)$$

Такий вираз дістав назву дискретне перетворення Фур'є (ДПФ).

1.2.2 Швидке перетворення Фур'є (ШПФ)

ШПФ є одними з найважливіших алгоритмів з прикладної та інженерної математики та інформатики, зокрема для теорії одно- та багатовимірних систем та обробки сигналів. Оскільки ДПФ це алгоритм який необхідно знати для розрахунку коефіцієнтів Фур'є, даний алгоритм не використовується в сучасних технологіях, через значну тривалість роботи методу. Тому, як правило використовують ШПФ. Даний алгоритм використовує властивості періодичності тригонометричної функції для того, щоб уникнути непотрібних розрахунків ДПФ. Результат ШПФ та ДПФ є один і той самий, але кількість операцій менше, а отже можна сказати, що точність розрахунку ШПФ більша [7–10].

1.2.2.1 Алгоритм для ряду із 4 елементів

Розглянемо випадок, коли сигнал представлений рядом всього із 4 елементів як показано у формулі (1.26) [8]:

$$\{f_0, f_1, f_2, f_3\} \quad (1.26)$$

Тоді, дискретне перетворення Фур'є даного сигналу можна виразити у вигляді добутку матриці на вектор сигналу, за формулою (1.27) [8]:

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
						30
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w^0 & w^0 & w^0 & w^0 \\ w^0 & w^1 & w^2 & w^3 \\ w^0 & w^2 & w^4 & w^6 \\ w^0 & w^3 & w^6 & w^8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_0 \\ f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix} \quad (1.27)$$

де w - деяке комплексне число представлене у вигляді $w = e^{-j(2\pi/N)}$;

N - кількість даних в сигналі.

Тепер, для спрощення проведемо заміну підставивши числові значення степеневого ряду відповідно рис.1.4. Результат показано у формулі (1.28) [8,11]:

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -j & -1 & j \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & j & -1 & -j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_0 \\ f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix} \quad (1.28)$$

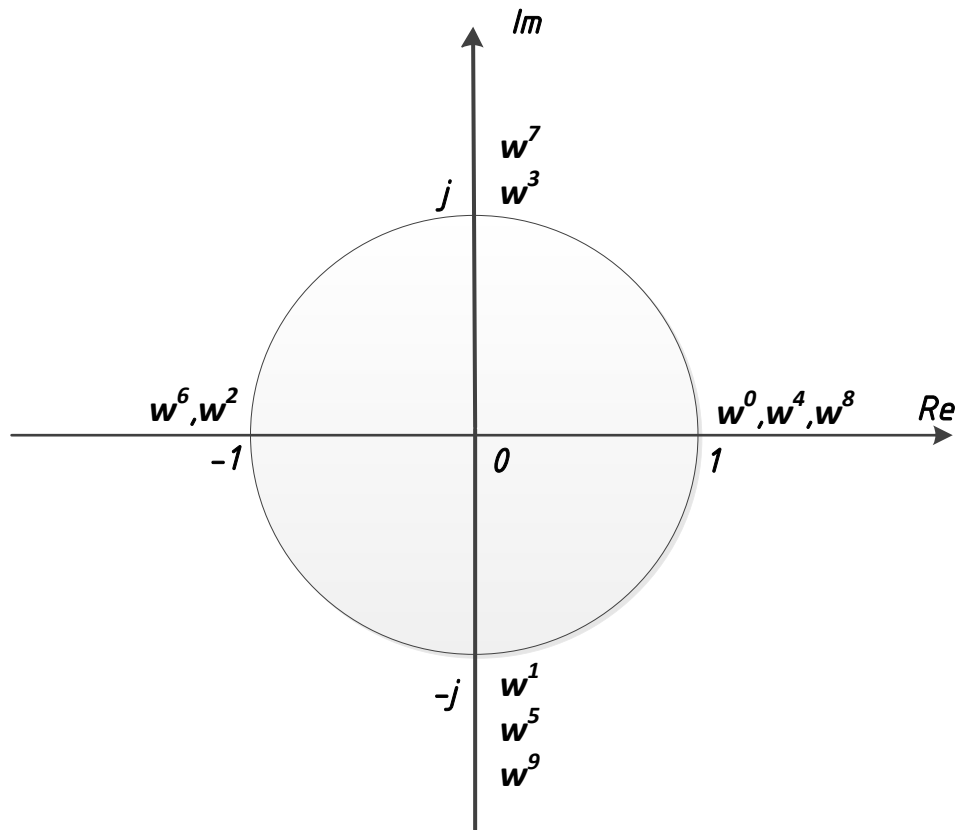


Рисунок 1.4 – Степеневий ряд w для $N = 4$

Тепер, для спрощення розуміння перетворимо добуток матриці на вектор (1.29) [8]:

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w^0 & w^0 & w^0 & w^0 \\ w^0 & w^1 & w^2 & w^3 \\ w^0 & w^2 & w^4 & w^6 \\ w^0 & w^3 & w^6 & w^8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_0 & f_1 & f_2 & f_3 \end{bmatrix} \quad (1.29)$$

Змінимо місцями стовбці матриці, розділивши її на групи f_0, f_2 із парними індексами та f_1, f_3 із непарними індексами, тим самим, отримаємо матрицю (1.30) [8]:

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w^0 & w^0 \\ w^0 & w^2 \\ w^0 & w^4 \\ w^0 & w^6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w^0 & w^0 \\ w^1 & w^3 \\ w^2 & w^6 \\ w^3 & w^8 \end{bmatrix} \quad (1.30)$$

Із даної матриці видно, що $w^{k+1} = w^k w^1$. Даний вираз можна представити за формулою (1.31) [8]:

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w^0 & w^0 \\ w^0 & w^2 \\ w^0 & w^4 \\ w^0 & w^6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w^0 \\ w^1 \\ w^2 \\ w^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w^0 & w^0 \\ w^0 & w^2 \\ w^0 & w^4 \\ w^0 & w^6 \end{bmatrix} \quad (1.31)$$

Відповідно до рис. 1.4 видно, що

$$w^4 = w^0 = 1, \quad w^6 = w^2 = -1,$$

а також

$$w^2 = -w^0, \quad w^3 = -w^1.$$

Підставимо дані значення у вираз і отримаємо вираз (1.32) [8,11]:

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \\ 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w^0 \\ -w^1 \\ w^0 \\ -w^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \\ 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (1.32)$$

Із даного виразу видно, що стовпці однакові й їх елементи приймають значення 1 або -1. Тому, розрахунки ми можемо провести, а із цього випливає, що і об'єм їх зменшиться. Тепер можна схематизувати такі розрахунки. Спочатку розіб'ємо f_0, f_1, f_2, f_3 на групи із парних та непарних індексів та в кожній групі виконаємо операції додавання та віднімання. Хід розрахунку зображений на рис. 1.5 [8].

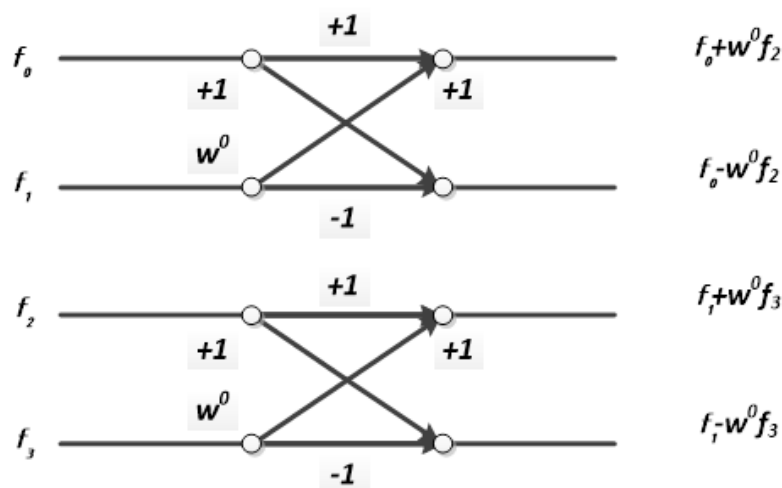


Рисунок 1.5 – Метод «метелика»

Далі проводиться операція множення кожний елемента матриці на множник, який зустрічається на його шляху. В точках з'єднання стрілок проводиться додавання. Такий метод перетворення та розрахунку дістав назву «метелик». Крім того, один такий розрахунок «метелика» відповідає одна операція множення.

На рис. 1.6 зображено розрахунок «метелика» 4 рази. В дискретному перетворенні Фур'є операцій множень довелося провести $4 \times 4 = 16$ разів, а в даному випадку 4 рази [8].

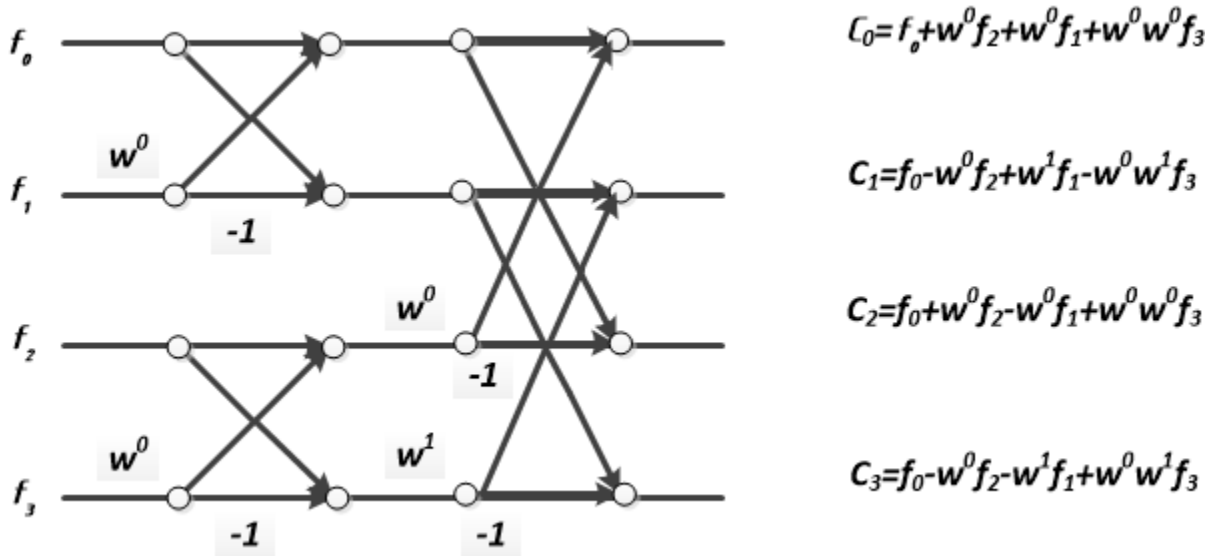


Рисунок 1.6 – ШПФ для ряду із 4 елементів

Таким самим чином проводиться розрахунок для ряду із 8 елементів як зображено на рис. 1.7. В даному випадку кількість операцій множення довелося провести всього лише 12 разів. Це всього лише $\frac{3}{16}$ від 64 операцій множення, які треба виконати в дискретному перетворенні Фур'є [8,11].

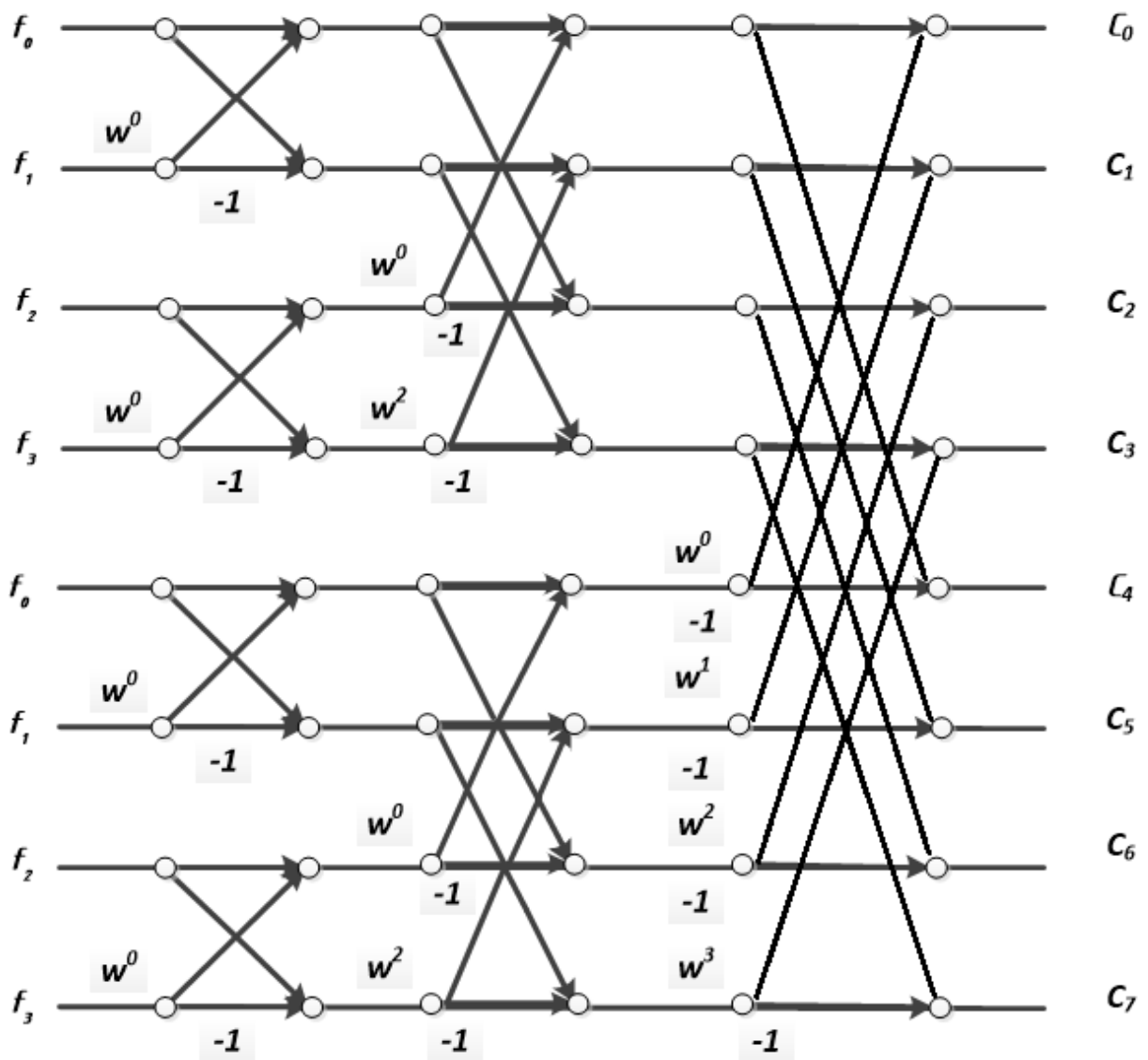


Рисунок 1.7 – ШПФ для ряду із 8 елементів

Отже, якщо число даних N є степенем числа 2, тобто $N = 2^p$, число операцій множення ДПФ рівне N^2 , а у випадку ШПФ – $NP/2$. Якщо кількість даних не велика, то кількість операцій невелика а різниця в операціях незначна, але у випадку, якщо кількість даних дорівнює числу $2^{10} = 1024$, то в порівнянні кількість операцій множення в ДПФ складатиме 1050000 раз, а в ШПФ достатньо 5000 раз, що складає приблизно 1/200 від об'єму розрахунків ДПФ [8,11].

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

1.2.3 Алгоритм збільшення точності визначення частоти гармонік напруги сигналу

Більшість параметрів якості електроенергії можна визначити за допомогою спектрального перетворення Фур'є як показано в пункті 1.2.2. Але при використанні даного методу на практиці виникає ряд складностей. Особливо, дані неточності виникають при визначенні частоти, амплітуди та фази дискретизованого сигналу напруги та частоти [12].

Такі відхилення пов'язано з кратністю часу між вимірами сигналу до його періоду. Якщо період аналогового сигналу кратний відстані між вимірами дискретизованого сигналу, то метод ШПФ розрахує точні результати для вищих гармонік. У випадку, коли період аналогового сигналу не кратний відстані між дискретного сигналу максимум спектра напруги буде не реальним значенням, як показано на рис. 1.8 [5,12,13].

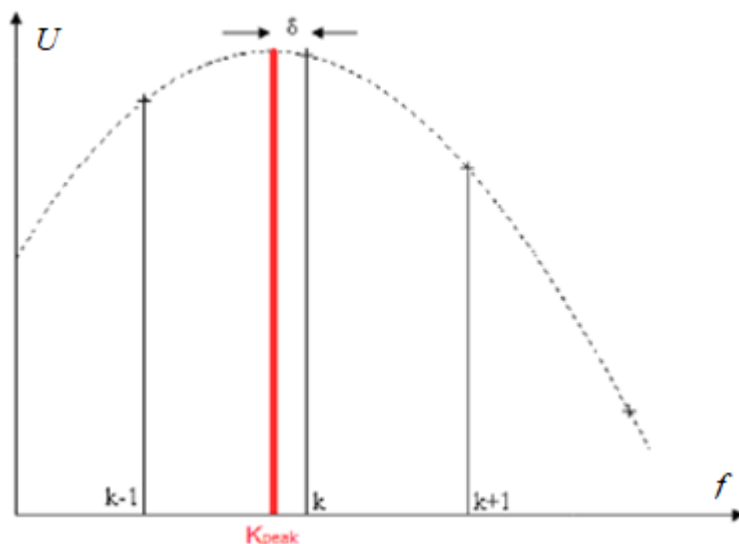


Рисунок 1.8 – Випадок розбіжності максимуму ШПФ та максимуму спектра напруги

На рис. 1.8 номери вимірів максимум ШПФ та його двох сусідніх вершин позначені як k , $k+1$ та $k-1$ відповідно. Порядковий номер максимум

гармоніки спектра напруги позначено як k_{peak} . Різниця між k_{peak} та k позначено як δ .

Для вирішення даної проблеми використовують додаткові методи. Для зменшення δ та збільшення точності у визначенні частоти доцільно використовувати додаткові методи котрі описані в [13], а саме:

- метод Якобсена;
- методи Квіна;
- методи Маклеода;
- метод Грендка;
- алгоритм параболічних інтерполяцій;
- алгоритм інтерполяції Гаусса.

Алгоритми, для знаходження параметрів гармонік напруги, являються інтерполяційними. Головною ідеєю даних методів являється знаходження проміжних значень відповідно до того набору даних, які маємо. Головною умовою є вимога, що крива побудованої функції повинна точно пройти через побудовані точки та даних, які маємо [13–16].

У даній роботі, на основі попередніх робіт, ми використовуємо другий метод Квіна [13–16] та метод кореляційної функції [13,17].

1.2.3.1 Другий метод Квіна

Метод Квіна оснований на виборі максимум спектра за трьома точками ШПФ. Блок-схема визначення частоти за другим методом Квіна показана на рис. 1.9.

В даному методі параметр δ визначається наступним виразом (1.33)

$$\delta = \frac{\hat{a}_{-1} + \hat{a}_{+1}}{2} + g(\hat{a}_{+1}) - g(\hat{a}_{-1}), \quad (1.33)$$

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

де $g(*)$ - визначається за формулою (1.34);

\hat{a}_{-1} та \hat{a}_{+1} - визначаються за формулою (1.35);

$u(*)$ - деяка квадратична функція із максимальним коефіцієнтом функції $u(k)$ та реальним коефіцієнтом, який знаходиться в точці максимум $u(k + \delta)$.

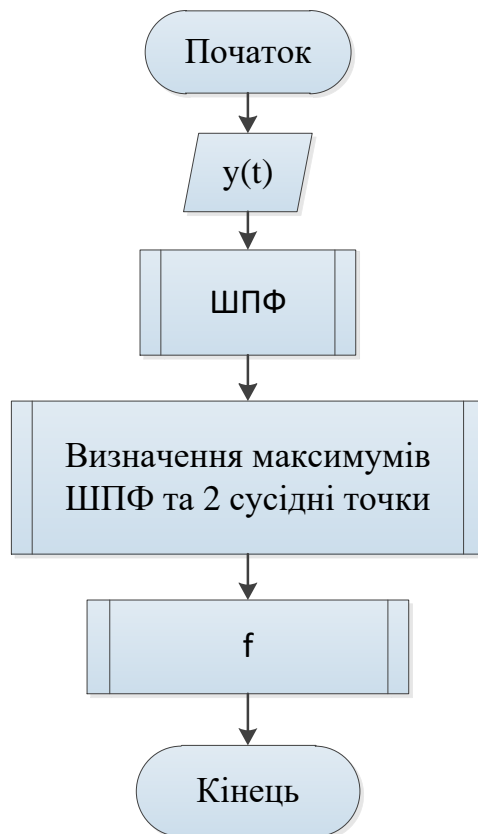


Рисунок 1.9 – Блок-схема другого метода Квіна

$$g(*) = \frac{1}{4} \cdot \log(3 \cdot x^4 + 6 \cdot x^2 + 1) - \frac{\sqrt{6}}{24} \cdot \log\left(\frac{x^2 + 1 - \sqrt{2/3}}{x^2 + 1 + \sqrt{2/3}}\right). \quad (1.34)$$

$$\hat{a}_{-1} = \frac{-\operatorname{Re}\left(\frac{u(k-1)}{u(k)}\right)}{\operatorname{Re}\left(\frac{u(k-1)}{u(k)}\right) - 1}, \quad \hat{a}_{+1} = \frac{-\operatorname{Re}\left(\frac{u(k+1)}{u(k)}\right)}{\operatorname{Re}\left(\frac{u(k+1)}{u(k)}\right) - 1}. \quad (1.35)$$

Визначення f проводиться за формулою (1.37) після визначення порядкового номера реального максимуму частоти за формулою (1.36)

$$k_{peak} = k + \delta, \quad (1.36)$$

$$f = k_{peak} \cdot \frac{f_s}{N}, \quad (1.37)$$

де f_s - частота дискретизації;

N - кількість точок ШПФ.

1.2.3.2 Метод кореляційної функції

Базовим параметром методу кореляційних функцій є коефіцієнт кореляції. Для досліджуваної функції напруги формується набір стандартів. Далі проводиться аналіз наявності зв'язку в точках між параметрами досліджуваного напруги і зразка. Найбільше значення коефіцієнта кореляції свідчить про зразок, параметр якого потрібно вибрати [13].

Для того щоб сформувати набір еталонів необхідно визначити базову точку, навколо якої будуть створюватися еталони. Позначимо дану точку визначимо як точку B . Дана точка обирається із найближчих цілих значень основної частоти визначеної напруги. Крім того, необхідно визначити крок із якою будемо формуватися еталони. Позначимо його через h . Потім на проміжку $\left[B - \frac{1}{2}, B + \frac{1}{2}\right]$ необхідно провести формування еталонів. Для даного

										Арк.
										40
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	MP 3.8.14.1.428 ПЗ					

спектра віконної функції необхідно зміщувати вправо або в ліво із шагом h заданого проміжку і визначити 5 точок навколо піка [12,13].

Розрахунок коефіцієнта кореляції проводиться по 5 точкам, оскільки для дискретного спектра енергії гармоніки знаходиться в найближчих 3-5 відділках в районі максимумів амплітудного спектра. Згідно властивості ДПФ зміщувати спектр на задану величину без зміни амплітудного спектра, необхідно спектр вікна помножити на величину $\exp^{-j \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot (B \pm i \cdot h)}{T_w}}$ [13].

Таким чином, отримаємо набір еталону множини із M точок $W_j = \{W_{j0}, W_{j1}, \dots, W_{jM-1}\}$, кожна точка якої визначається за формулою (1.38) [12,13]:

$$W_j = W \left(\frac{2 \cdot \pi}{T_w} \cdot (i + \Delta r_j) \right), \quad (1.38)$$

де $-\frac{M}{2} < i < \frac{M}{2}$, $0 < \Delta r_j < 1$.

На рис. 1.10 показано приклад побудови набору еталонів. Перший набір має зміщення відносно базової точки. Другий набір не має зміщення відносно базової точки на величину кроку формування еталону h . Третій набір зміщений вправо відносно базової точки B на величину кроку формування еталону h . Крім того, для першого набору еталону визначено його точки ДПФ.

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

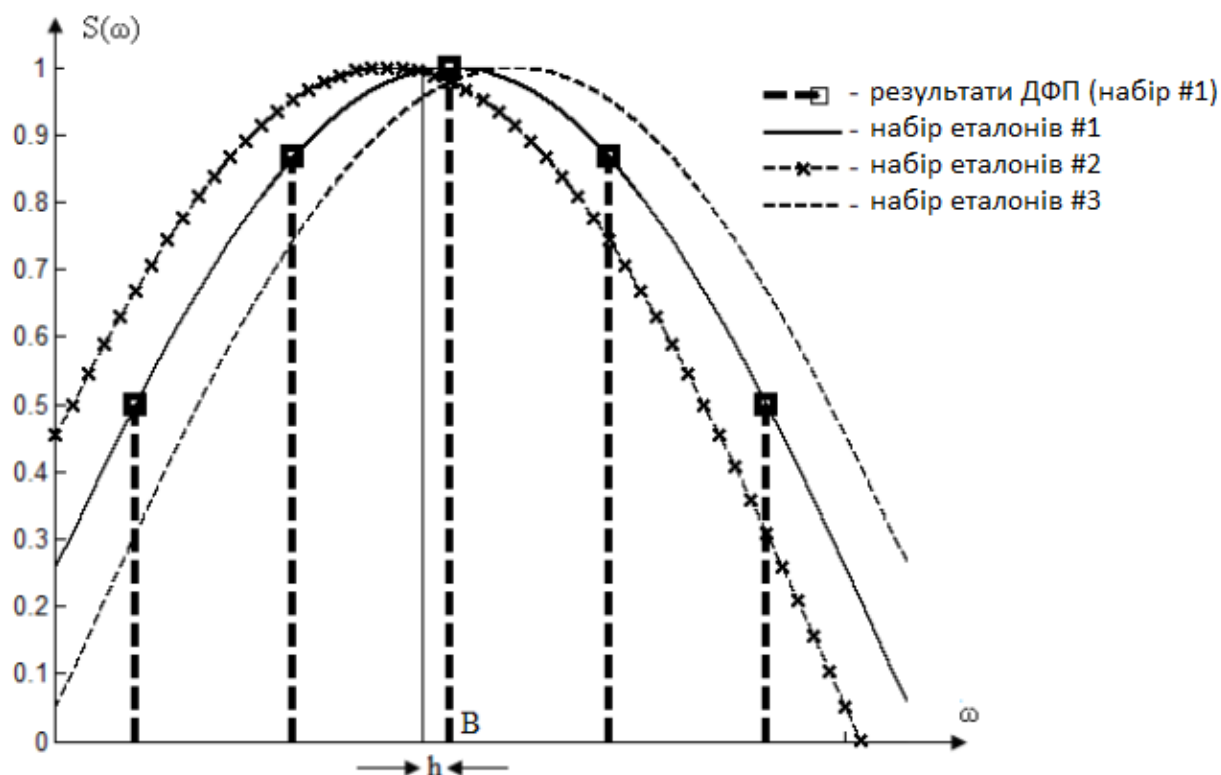


Рисунок 1.10 – Приклад побудови набору еталонів

Далі, нехай існує деяка напруга $u(t)$ із періодом T_s та спектром, обмеженим N -ою гармоніки, та шумом $\eta(t)$. Для обмеження тривалості напруги накладається деяке вікно $w(t)$, яке має значення на проміжку $\left[-\frac{T_w}{2}, \frac{T_w}{2}\right]$ та спектром $W(\omega)$.

В якості віконної функції для методу кореляційної функції використовується вікно Кайзера з параметром 10, оскільки при спектральному аналізі сигналу із відомим або заданим динамічним діапазоном необхідно обирати таку віконну функцію, рівень бокових листків спектра яких менша заданого діапазона [17]. Вікно Кайзера на 2048 точок із параметром 10 показано на рис. 1.11.

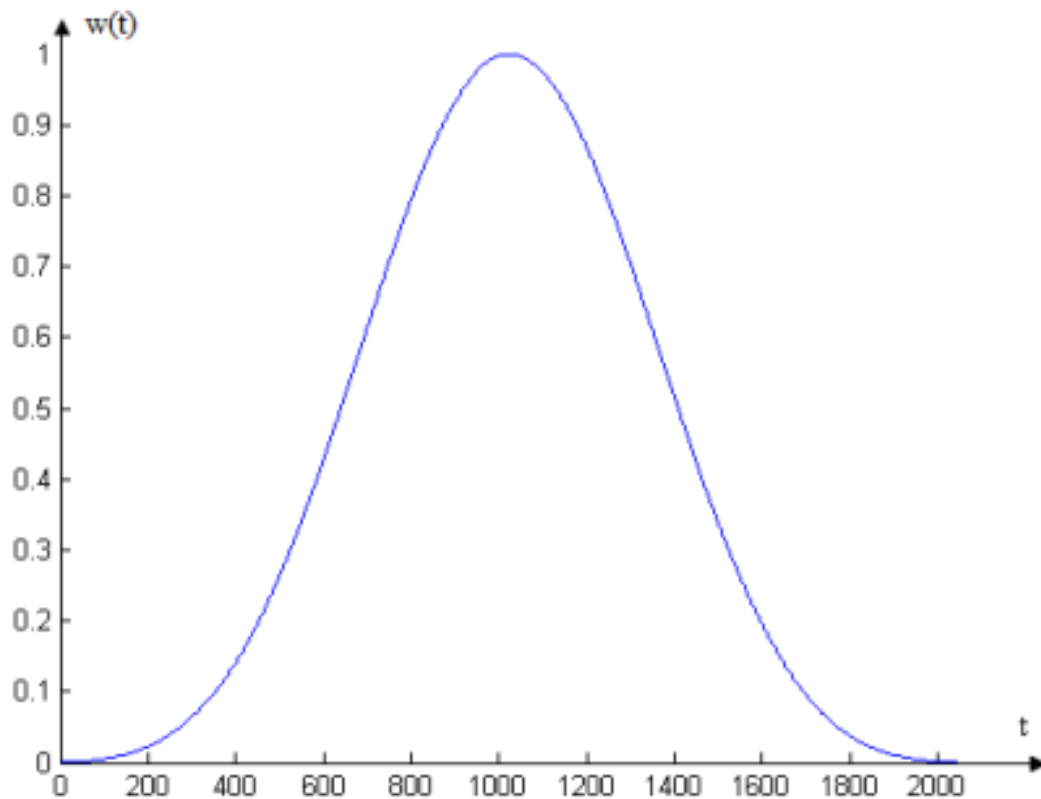


Рисунок 1.11 – Вікно Кайзера із параметром 10 на 2048 точок

В результаті накладені вікна на сигнал отримуємо, обмежений по часу, сигнал за формулою (1.39):

$$\begin{aligned}
 u(t) &= u'(t) \cdot w(t) = \sum_{v=0}^{v=N} A_v e^{j\varphi v} \cdot w(t) \cdot e^{j \frac{2\pi}{T_s} \cdot v \cdot t} + \eta(t) \cdot w(t) = \\
 &= \sum_{v=0}^{v=N} A_v e^{j\varphi v} w(t) \cdot e^{j \frac{2\pi}{T_s} \cdot v \cdot t} + \eta_w(t)
 \end{aligned}
 \tag{1.39}$$

Спектр сигналу $w(t) \cdot e^{j \frac{2\pi}{T_s} \cdot v \cdot t}$, як відомо із властивостей перетворення Фур'є, представляє собою зміщення на величину $\frac{2 \cdot \pi}{T_s} \cdot v$ спектр сигналу $w(t)$

або $W\left(\omega - \frac{2 \cdot \pi}{T_s} \cdot v\right)$ [12,13].

Спектр сигналу $\eta_w(t)$ представляє із себе добуток по часовій області функції $\eta(t)$ та $w(t)$, то в частотній області спектр даного сигналу є згортка спектрів функцій за формулою (1.40) [13,17]:

$$\Theta_w(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \Theta(\Omega)W(\omega - \Omega)d\Omega \quad (1.40)$$

Величина $\Theta_w(\omega)$, як і $\Theta(\omega)$, є випадковою. Дисперсія $\Theta_w(\omega)$ не залежить від частоти ω і рівна виразу за формулою (1.41) [5,12,13,17]:

$$D[\Theta_w(\omega)] = D[\Theta(\omega)] \cdot \frac{1}{T_w} \cdot \int_{-\frac{T_w}{2}}^{\frac{T_w}{2}} w^2(t)dt = const \quad (1.41)$$

В результаті отримуємо спектр напруги, який показано у формулі (1.42) представлений собою функцію спектрів накладеного вікна та випадкової величини [12,13]:

$$U(\omega) = \sum_{v=0}^{v=N} A_v e^{j\varphi_v} W\left(\omega - \frac{2 \cdot \pi}{T_s} \cdot v\right) + \Theta_w(\omega) \quad (1.42)$$

Основна задача виміру гармонічних складових напруги $u(t)$, обмежених на часовій області вікном $w(t)$ зводиться до знаходження коефіцієнта A_v по M точкам функції $U(\omega)$ в області v -го піка.

Після цього, знайдемо значення функції $U(\omega)$ в даних точках. Після підстановки $\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T_w} \cdot n$ в (1.42) районі піка ДПФ v має вид за формулою (1.43)

[12,13]:

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

$$\begin{aligned}
 U\left(\frac{2 \cdot \pi}{T_w} \cdot n\right) &= \sum_{v=0}^{v=N} A_v e^{j \cdot \varphi_v} W\left(\frac{2 \cdot \pi}{T_w} \cdot n - \frac{2 \cdot \pi}{T_s} \cdot v\right) = \\
 &= \sum_{v=0}^{v=N} A_v e^{j \cdot \varphi_v} W\left(\frac{2 \cdot \pi}{T_w} \cdot \left(n - \frac{T_w}{T_s} \cdot v\right)\right) + \Theta_w(\omega)
 \end{aligned}
 \tag{1.43}$$

Нехай ціла частина виразу в (1.43) $n - \frac{T_w}{T_s} \cdot v$ рівна r , а дробова частина даного виразу рівна Δr . Тоді отримаємо вираз за формулою (1.44):

$$\begin{aligned}
 U\left(\frac{2 \cdot \pi}{T_w} \cdot n\right) &= \sum_{v=0}^{v=N} A_v e^{j \cdot \varphi_v} W\left(\frac{2 \cdot \pi}{T_w} \cdot (r + \Delta r)\right) + \Theta_w(\omega) \\
 &=
 \end{aligned}
 \tag{1.44}$$

Таким чином, отримаємо реалізація ДПФ напруги обмеженого вікном. Коефіцієнт кореляції між множиною U та еталоном W_j визначеного за формулою (1.45) [12,13]:

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^{i=M} U_i \cdot W_{ji} &= \sum_{i=1}^{i=M} A_v e^{j \cdot \varphi_v} W\left(\frac{2 \cdot \pi}{T_w} \cdot (i + \Delta r)\right) \cdot W\left(\frac{2 \cdot \pi}{T_w} \cdot (i + \Delta r_j)\right) = \\
 &= A_v e^{j \cdot \varphi_v} R(\Delta r - \Delta r_j) + \Theta_w(\omega)
 \end{aligned}
 \tag{1.45}$$

де $R(\Delta r - \Delta r_j)$ - кореляційна функція $W\left(\frac{2 \cdot \pi}{T_w} \cdot (i + \Delta r)\right)$ та $W\left(\frac{2 \cdot \pi}{T_w} \cdot (i + \Delta r_j)\right)$.

При проведенні гармонічних складових напруги буде достатньо розглянути 5 гармонік біля максимальної гармоніки спектра напруги, тобто $M=5$ [12,13].

						Арк.
					MP 3.8.14.1.428 ПЗ	45
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо в якості вікна вибирається симетрична функція, то функція $W(\omega)$ та більшість значень W_{ji} будуть дійсними. Із врахуванням даного модуля та v -ї гармоніки визначається амплітуда A_v за формулою (1.46)

$$A_v = \frac{1}{R(\Delta r - \Delta r_j)} \cdot \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{i=M} \operatorname{Re}(U_i) \cdot W_{ji}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{i=M} \operatorname{Im}(U_i) \cdot W_{ji}\right)^2} - \frac{\Theta_w(\omega)}{R(\Delta r - \Delta r_j)} \quad (1.46)$$

У випадку, коли еталон W_{ji} формують кореляційну функцію $R(\Delta r - \Delta r_j)$ можна вважати рівною 1. Тоді параметра шуму $\Theta_w(\omega)$ не враховується, а вважається теоретичною похибкою методу [12,13]. Тоді формулу для модуля амплітуди v -ї гармоніки (1.46) можна записати в наступній формі (1.47):

$$A_v = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{i=M} \operatorname{Re}(U_i) \cdot W_{ji}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{i=M} \operatorname{Im}(U_i) \cdot W_{ji}\right)^2} \quad (1.47)$$

Отже, оцінка гармонічних складових напруги методом кореляційної функції проводиться за наступною формулою [13]:

1. Визначається ДПФ напруги і грубо визначається положення основної гармоніки по ДПФ напруги в області 50 ± 2 Гц.
2. Якщо в області пошуку вищої гармоніки рівень складових амплітудного спектра нижнього рівня шуму, робиться висновок про відсутності відповідної гармоніки.
3. Для кожної області береться M точок і визначається за формулою (1.47) модуль v -ї гармоніки A_v для кожного із еталонів W_{ji} . Найбільш близьким вважається той, який дав найбільший A_v .

Блок схема методу кореляційної функції зображено на рис. 1.12.

										Арк.
										46
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

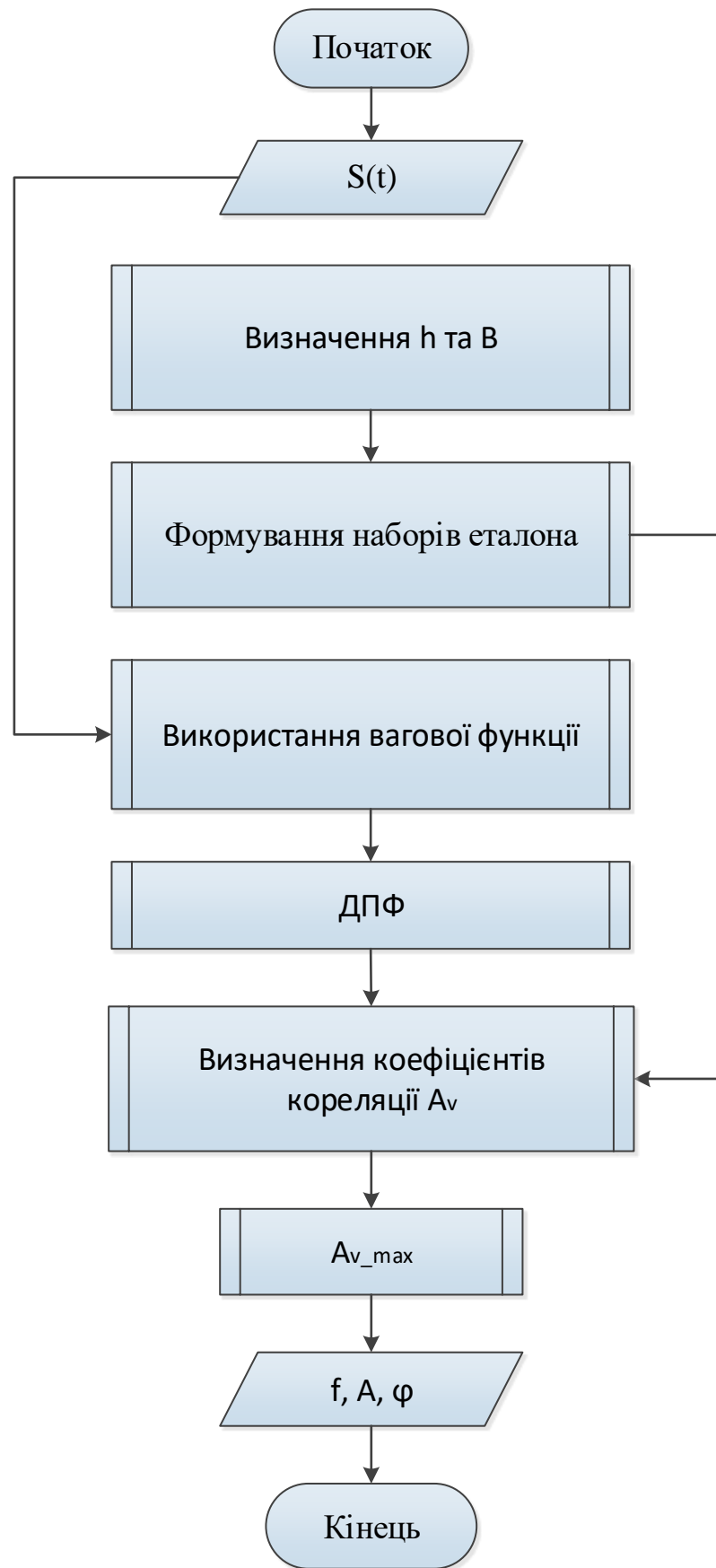


Рисунок 1.12 – Блок схема метода кореляційної функції

1.3 СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ ДЛЯ ЗБОРУ ТА АНАЛІЗУ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

В даній роботі для збору та аналізу основних параметрів електроенергії були розроблені та використані наступні елементи на основі робіт [18–20]:

- розроблено систему для пониження напруги;
- використано плату для збору даних NI USB-6009;
- розроблено програмний продукт та інтерфейс для подальшого аналізу даних та подачі результатів розрахунків користувачу.

Структурна схема даного комплексу показана на рис. 1.13. Дана схема схематично показує основні функціональні частини проекту, їх взаємозв'язки та призначення. На даній структурній електричній схемі у вигляді прямокутників зображено всі основні частини і показано взаємозв'язок між ними.

«Енергосистема» - система в якій знаходиться досліджуваний електричний сигнал. Представлене у виді пристроїв та обладнання, які призначені для виробництва, передачі, розподілу, перетворення і споживання електричної енергії.

«Блок узгодження сигналу» - необхідний для пониження вхідного сигналу за амплітудною напруги. У свою чергу, даний блок включає в себе ще два блоки:

- «Прилад зняття перинної напруги» - прилад для пониження напруги.
- «Плата збору даних NI USB – 6009» - плата фірми National Instruments необхідна для збору даних та передача їх на комп'ютер.
- «DAQmx» - драйвера необхідні для підвищення продуктивності при зборі даних і розробки програм для їх управління [21].

					MP 3.8.14.1.428 ПЗ	Арк.
						48
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

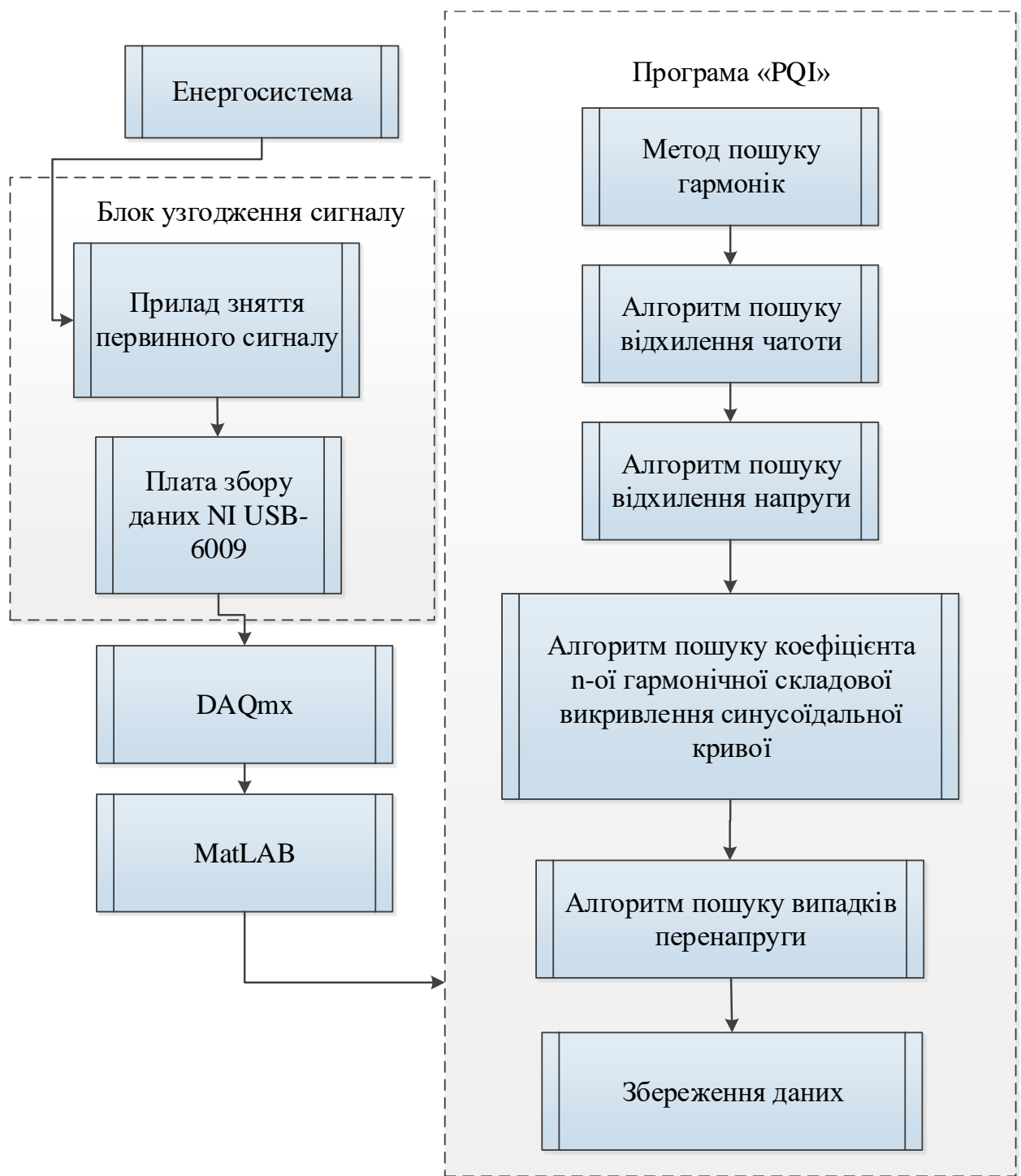


Рисунок 1.13 – Структурна схема вимірювального комплексу

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

1.3.1 Система узгодження рівнів напруги

Дана система представляє собою понижувальний трансформатор, який створює гальванічну розв'язку системи та діляника напруги для зниження величини напруги до робочого значення напруги плати по збору даних.

В даній роботі використовується діляник із двох резисторів котрий показано на рис. 1.14.

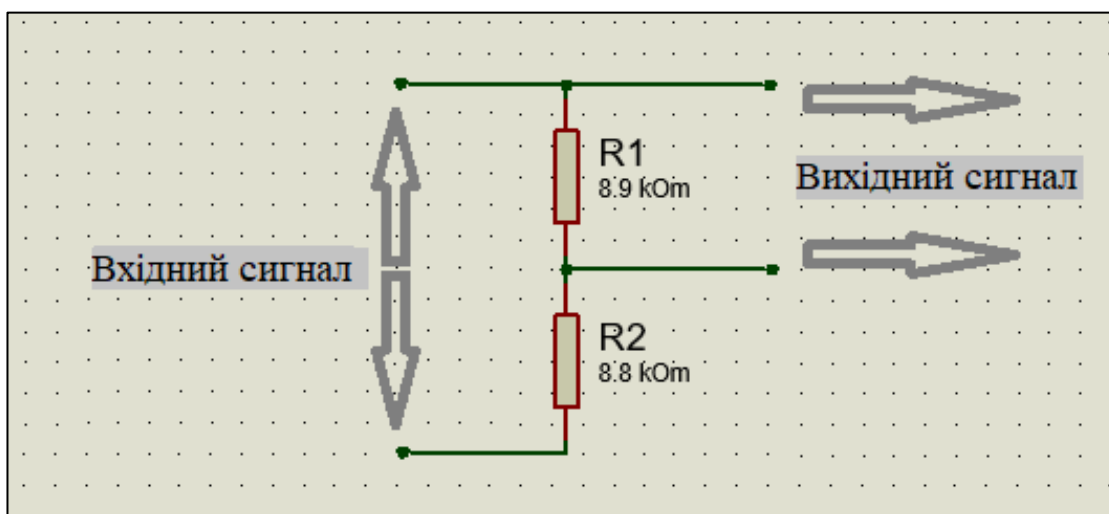


Рисунок 1.14 – Схема подільника напруги із двох резисторів.

На даному рисунку зображено два резистори R_1 та R_2 . Резистор R_1 називають верхнім плечем. Резистор R_2 - вихідним плечем [22,23].

У даній роботі використовуються резистори на 8.9 та 9.8 кОм. Напруга на вторинній обмотці трансформатора 6,8 В. Відповідно, якщо підставити дані параметри у формулу то отримаємо

$$U_2 = \frac{UR_2}{R_1 + R_2} = \frac{6,8 \cdot 9,8}{8,9 + 9,8} = 3,56 \text{ В}$$

Напруга на резисторі вищого плеча складатиме 3,56 В.

					MP 3.8.14.1.428 ПЗ	Арк.
						50
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.2 Плата збору даних

Для збору та передачі даних на персональний комп'ютер використовується плата для збору даних NI USB – 6009 рис. 1.15 [24,25]. Приєднання до комп'ютера відбувається за допомогою інтерфейсу full-speed USB та містить у собі вісім каналів входу аналогового сигналу (AI), два канали генерації аналогових сигналів (AO), 12 каналів цифрового входу або виходу (DIO) та 32 – розрядний лічильник. Крім того, NI USB – 6009 має інші характеристики котрі показані в табл. 1.5. До основних та необхідних характеристик відносяться :

- розширення при аналоговому вході (необхідно для точності вимірювання значень);
- максимальна частота дискретизації (точність розрахунку неосновних гармонік залежить від даного параметра, відповідно чим більша величина, тим точніше та більшу гармоніку можна розрахувати);



Рисунок 1.15 – Прилад збору даних NI USB – 6009

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Таблиця 1.4 – Характеристики NI USB – 6009.

Характеристика	USB – 6009
Розширення при аналоговому вході	14 біт (диференційне підключення) 13 біт (підключення з загальним нульовим проводом)
Максимальна частота дискретизації	48 кГц
Конфігурація цифрового входу/виходу	Відкритий колектор або активне керування

1.3.2.1 Блок аналогового входу

В даній роботі використовується тільки модуль аналогового входу, котрий зображено на рис. 1.16.

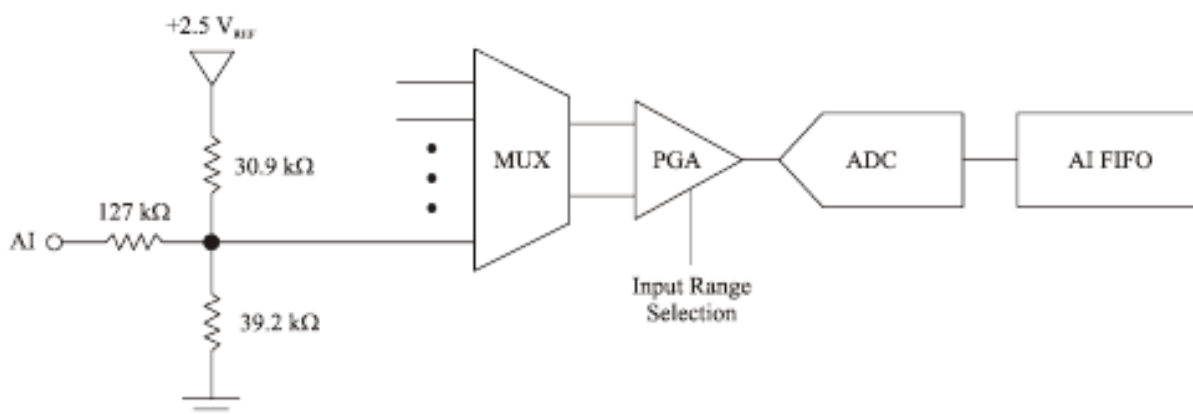


Рисунок 1.16 – Принципова схема блока аналогового входу

Кожний елемент на рис. 1.16 має такі характеристики [24,25]:

- MUX – елемент, котрий забезпечує послідовне підключення кожного із каналів аналогового входу до підсилювача з змінним коефіцієнтом підсилення.
- PGA (programmable-gain amplifier) – підсилювач із змінним коефіцієнтом підсилення вхідного сигналу в 1, 2, 4, 5, 8, 10, 16 або 20 раз в диференційній схемі підключення та 1 в схемі із спільним проводом.

Підсилення визначається автоматично залежно від діапазону вхідних даних напруги.

- A/D Converter (ADC) – аналоговий перетворювач виконує дискретизацію аналогового сигналу, тобто проводиться перетворення із аналогового виду в цифровий.
- AI FIFO – буфер операцій аналогового входу. Прилад USB – 6009 може виконувати як однократні операції, так і многократні аналогові перетворення великих кількостей вибірок. FIFO буфер необхідний для збереження отриманих даних, щоб уникнути втрати даних під час операції аналогового входу.

1.3.2.2 Схеми підключення аналогових сигналів

Існує дві схеми підключення для виконання вимірювання сигналів [24,25]:

- диференційна схема;
- схема із загальним проводом;

В даній роботі використана диференційна схема.

1.3.2.2.1 Підключення сигналів в диференційній схемі

При диференційному підключенні приєднання проводів із додатною напругою до терміналу AI+, а із від'ємною до AI-, відповідно схеми показаною на рис. 1.17 [24,25].

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

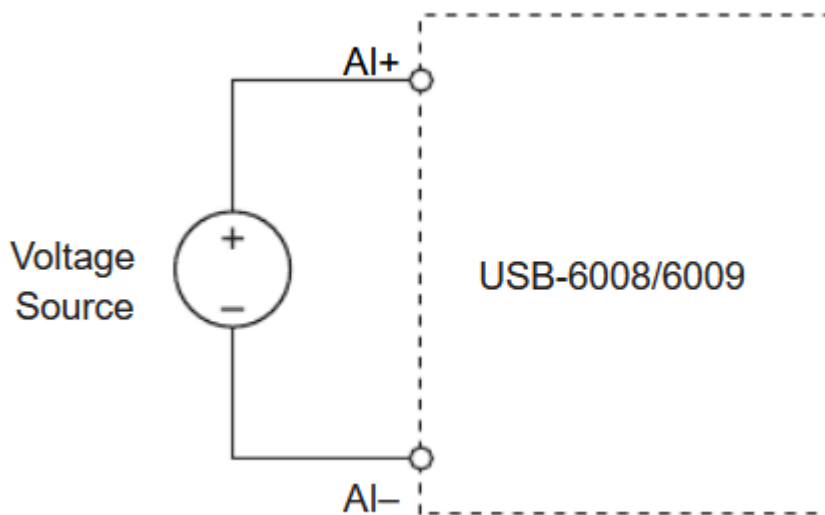


Рисунок 1.17 – Підключення сигналів за диференційною схемою

При диференційному підключенні вимір напруги проводиться в діапазоні ± 20 В. Однак, максимальна напруга на кожному із контактів не повинна перевищувати ± 10 В відносно *GND*.

Потрібно також пам'ятати, подача сигналу з амплітудою, вищою ± 10 В, на любий із контактів призводить до обмеження вимірюваного сигналу.

Контакти такого підключення являються парами терміналів підключень аналогових сигналів. Пари, які створюють диференційні вхідні сигнали наступні: $\langle AI0, AI4 \rangle$, $\langle AI1, AI5 \rangle$, $\langle AI2, AI6 \rangle$, $\langle AI3, AI7 \rangle$. Всього існує 8 аналогових входів *AI*, відповідно при утворюють 4 аналогових входів при диференційному підключенні [24,25].

На рис. 1.18 показано схему підключення дільника напруги та приладу збору даних.

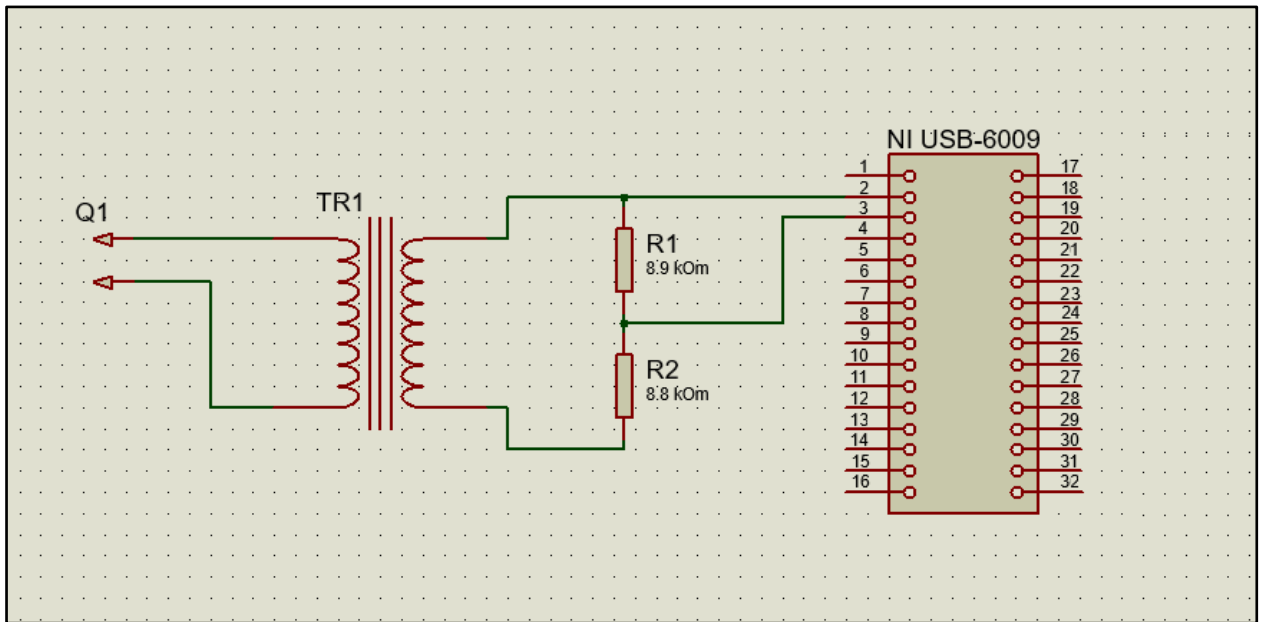


Рисунок 1.18 – Схема підключення дільника напруги до приладу збору даних диференційною схемою:

Q1 – вимірювальна мережа (однофазна двохпровідна;)

TR1 – гальванічна розв’язка у вигляді трансформатора;

R1, R2 – дільник напруги у вигляді двох резисторів;

NI USB-6009 – вимірювальний прилад.

1.3.3 Програмний інтерфейс

1.3.3.1 App Designer – середовище розробки додатків

Програмний інтерфейс розроблений в середовищі для розробки додатків App Designer, який у свою чергу є підпрограмою програмного пакета MatLAB [24,26–29], зображений на рис. 1.19.

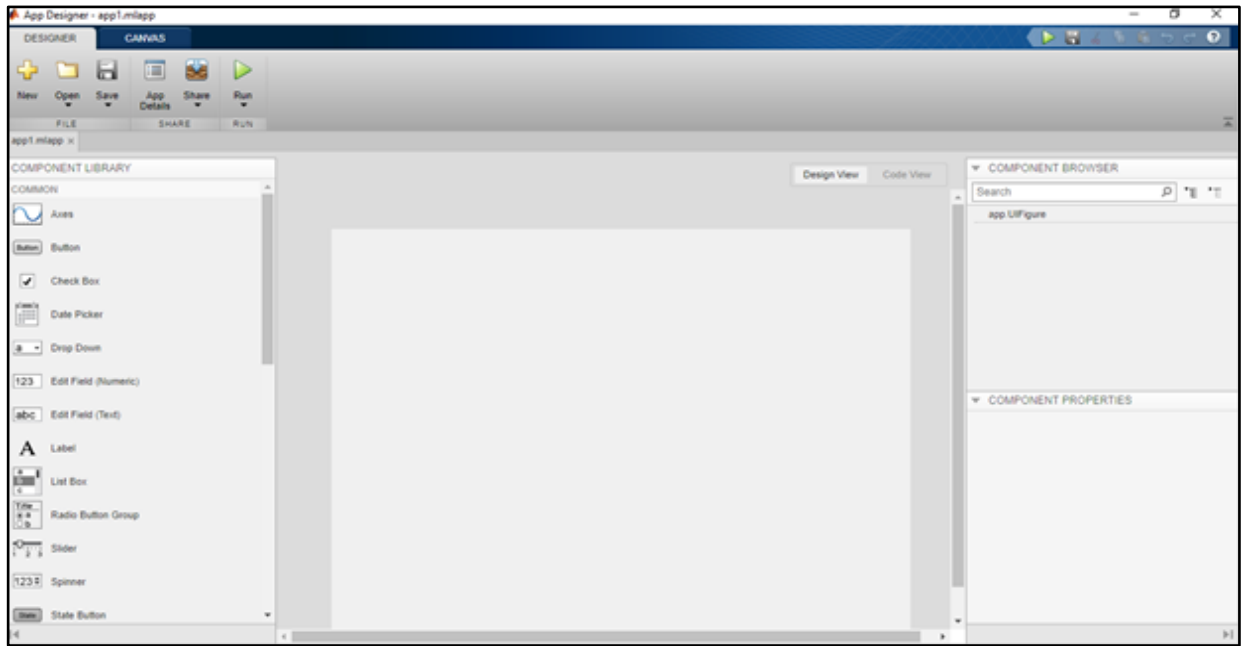


Рисунок 1.19 – Зовнішній вигляд App Designer для створення графічного інтерфейсу

1.3.3.2 Програма «PQI»: початкове вікно

На рис. 1.20 зображене початкове вікно програми «Підключення приладу».

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

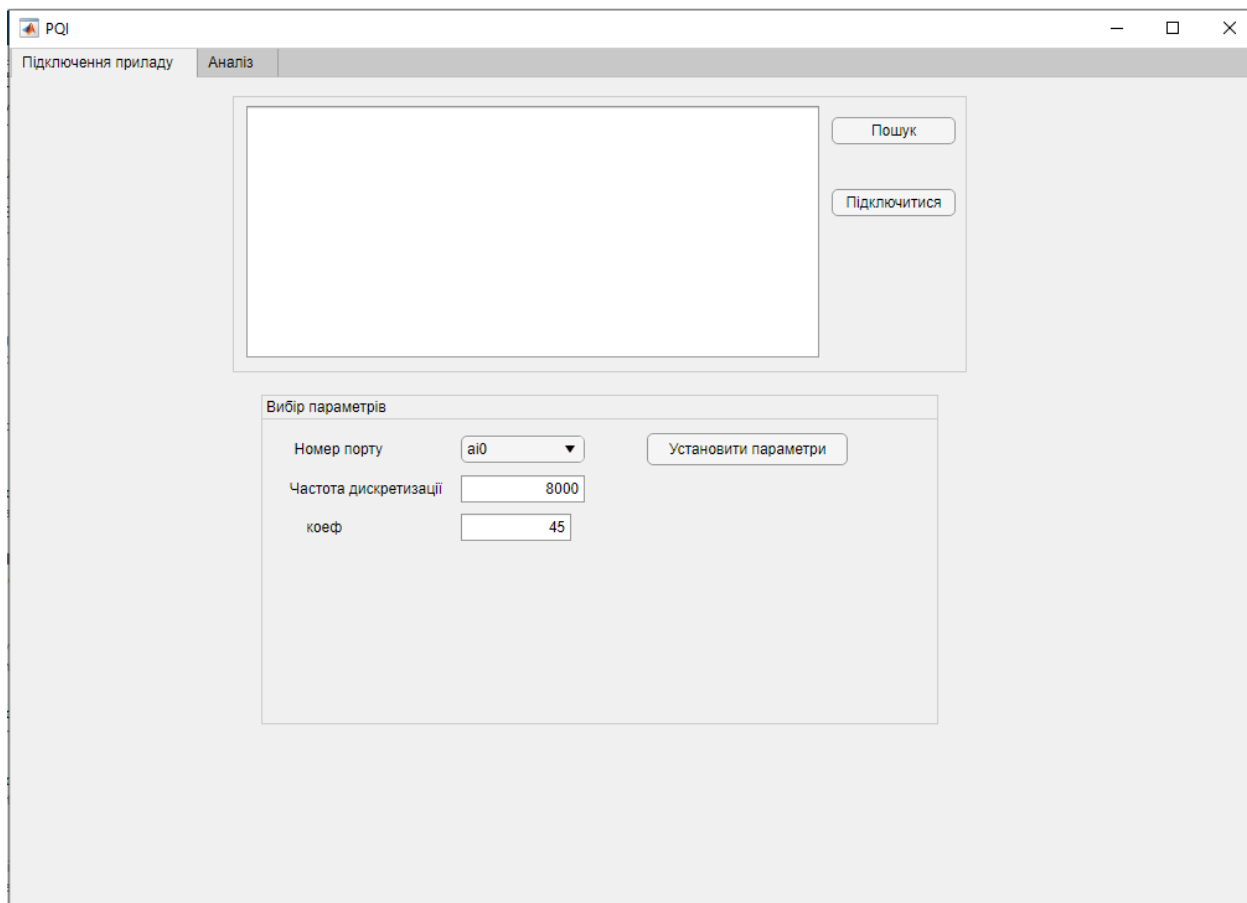


Рисунок 1.20 – Початкове вікно програми

Перед початком роботи, необхідно підключитись до приладу. Далі, обрати правильний номер порту, за необхідності змінити частоту дискретизації.

Після натискання на кнопку «Установити параметри» відбудеться встановлення відповідних попередніх налаштувань та відкриється вікно збереження подальших вимірювальних даних, рис. 1.21.

					MP 3.8.14.1.428 ПЗ	Арк.
						57
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

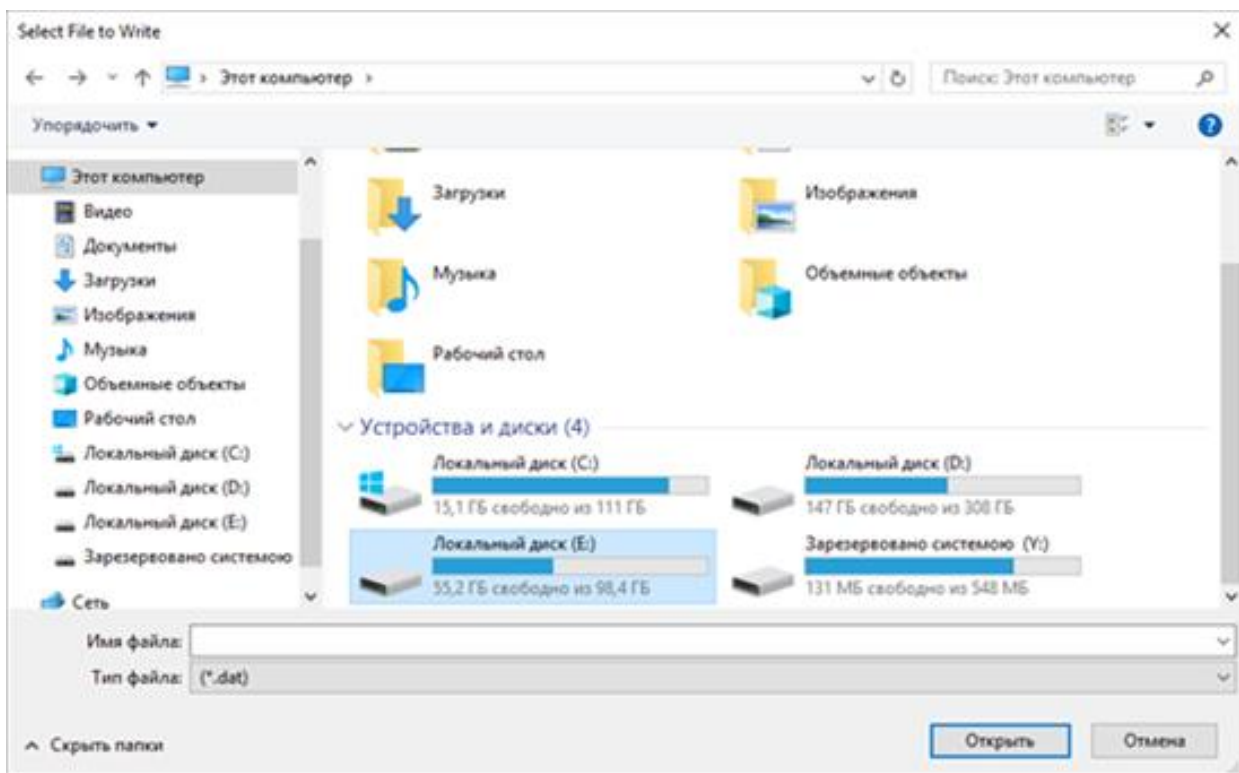


Рисунок 1.21 – Вікно збереження даних

На рис. 1.22 зображено вікно програми «PQI» панелі «Аналіз».

В даній панелі знаходяться такі елементи:

- Елемент «Аxes» для відображення графіка в полі «Амплітуда» частини амплітуди вхідного сигналу. Дана панель відображає форму вхідного сигналу для видимого представлення форми сигналу із існуючими в ньому усіх гармонічних складових сигналу, імпульсів перенапруги, відхилення напруги від номінальних значень, перенапруги та провалів напруги.
- Елемент «Аxes» поля «Амплітудно-частотний спектр» для відображення амплітудно-частотного спектру вхідного сигналу. Даний графік показує видимую наявність гармонічних складових сигналу котрі розкладаються відповідно методики нижче.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

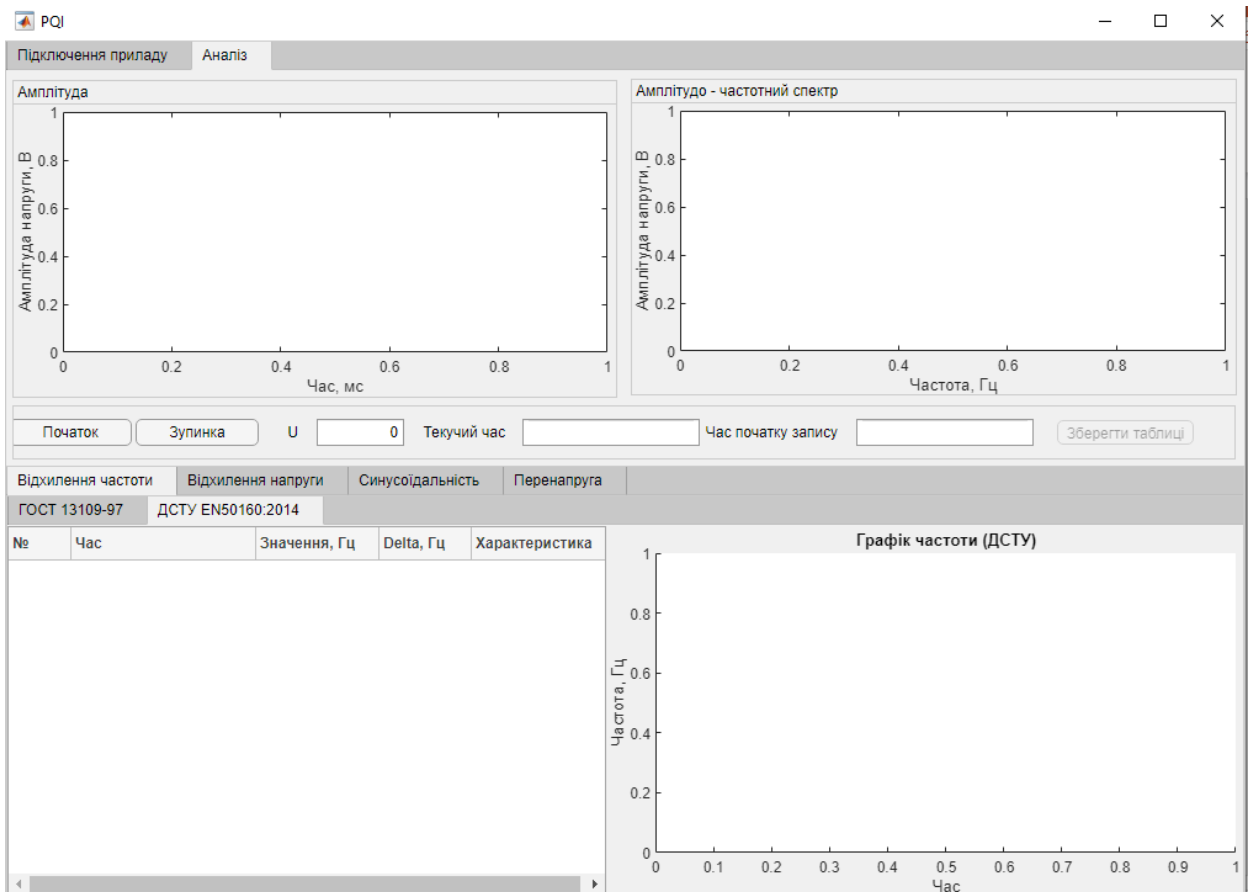


Рисунок 1.22 – Вікно програми панелі «Аналіз»

1.3.3.2.1 Програма «RQI» алгоритми виміру та розрахунку основних показників якості електроенергії

В додатку Б зображено блок схему роботи програми по знаходженню основних показників якості електроенергії котрі описані в пунктах 1.1.1, 1.1.3, 1.1.7, 1.1.9.

Нище описані пояснення до даної блок-схеми: відповідно пунктам.

- «Початок» на даному етапі запускається програма та підключення основних бібліотек MatLAB.

1) «StartUp функція» - це функція, в котрій об'являються зміни (масиви, таблиці, кнопки, панелі), присвоюються певні значення та їх тип. Прорисовується первинний макет програми та виводяться початкові дані певних таблиць. Створюються та налаштовуються осі графік для їх подальшої роботи.

2) «Підключення приладу» - в даному блоку відбувається пошук доступного підключеного приладу до комп'ютера, його підготовка до роботи, порти та параметри котрі введе користувач перед початком роботи. Також в даному блоку відбувається створення «dat» файлу для подальшого збереження в ньому виміряних даних.

3) «Копка «Початок»» - в даному блоку відбувається:

- початок відліку часу;

- додатково створюються масиви з відповідними необхідними розмірами для збереження тимчасової інформації;

- запускається цикл по збору та аналізу даних.

4) «Збір даних» - даний блок являється першою ланкою тривалого циклу.

В даному блоку відбувається збір даних з шини плати. Подальша зібрана інформація зберігається в тимчасовий масив *Data*.

5) «Метод визначення гармонік» - даний блок являється функцією, частина якої зображено на рис. 1.13. Блок-схема, по якій працює програма зображена в додатку В.

- «Початок» - до функції передаються дані, необхідні для подальшої роботи (*Data*, розмір масиву *Data*), організуються додаткові масиви для збереження даних та обробки майбутніх даних;

-«ШПФ» - в даному блоку викликається влаштована в бібліотеках MatLAB функція *fft* для визначення коефіцієнтів Фур'є вихідного сигналу і внаслідок амплітудно-частотного спектра та збереження його в тимчасовий масив.

- «Визначення: частоти, напруги, фази напруги гармонічного ряду» - даний блок являється першим блоком циклу для знаходження напруги, частоти, фази напруги кожної гармонік від 1 до 40 відповідно пункту 1.2 даної роботи.

- «Уточнення частоти та напруги» - в даному блоці проводиться збереження даних знайдених минулому пункті до тимчасового завчасно підготовленому масиві, а також розрахунок суми частоти $\sum_{i=1}^N f_i$ - формули (1.7) та

									Арк.
									60
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

суми напруги $\sum_{i=1}^N U_i^2$ формули (1.4). Дані величини зберігаються в спеціально завчасно підготовленій змінній

- «Розрахунок $K_{U(n)i}$ та K_{U_i} » - в даному блоці проводиться первинний розрахунок коефіцієнта n -ої гармонічної складової $K_{U(n)i}$, та коефіцієнта викривлення синусоїдальної кривої напруги K_{U_i} за відповідними формулами (1.13) та (1.16). Знайдені величини зберігаються в тимчасових масивах для подальшої обробки.

- «Існування в спектрі інших гармонік» - в даному блоці проводиться перевірка на існування в спектрі гармонік, котрі можна проаналізувати. У випадку «правди» програма повертається до пункту «Визначення: частоти, напруги, фази напруги гармонічного ряду» та проводяться процедури спочатку. У випадку «Неправди» програма завершує роботу виходячи на пункт «Кінець».

б) «Перевірка частоти» - даний блок проводить перевірку на усереднення частоти за часом. Відповідно табл. Є.1 додатку Є, усереднення слід проводити для частоти з інтервалом 20 с. У випадку «Правди», програма виконує блок додатку Г.

- «Початок» - до функції передаються дані, необхідні для подальшої роботи

- «Розрахунок відхилення частоти Δf » - в даному пункті проводиться розрахунок усталеного відхилення частоти за формулою (1.7).

- «Збереження даних» - в даному пункті проводиться збереження даних про усталене відхилення частоти, а також відліки часових проміжків для подальшого виводу даних до таблиць.

- «Кінець» - програма виходить із даної функції.

На рис. 1.23, рис. 1.24 Зображено результати вимірів та розрахунку усталеного відхилення частоти.

					MP 3.8.14.1.428 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

ГОСТ 13109-97		ДСТУ EN50160:2014		
№	Час	Значення, Гц	Delta, Гц	Характеристик
210	19-04 23:23:58:806	50	0	Норма
209	19-04 23:23:38:806	50	0	Норма
208	19-04 23:23:18:806	50	0	Норма
207	19-04 23:22:58:806	50	0	Норма
206	19-04 23:22:38:806	50	0	Норма
205	19-04 23:22:18:806	50	0	Норма
204	19-04 23:21:58:806	50	0	Норма
203	19-04 23:21:38:806	50	0	Норма
202	19-04 23:21:18:806	50	0	Норма
201	19-04 23:20:58:806	50	0	Норма

Рисунок 1.23 – Панель «Відхилення частоти» за ГОСТ 13109-97

ГОСТ 13109-97		ДСТУ EN50160:2014		
№	Час	Значення, Гц	Delta, Гц	Характеристика
7	19-04 23:23:58:806	50	0	Норма
6	19-04 23:13:58:806	50	0	Норма
5	19-04 23:03:58:806	50	0	Норма
4	19-04 22:53:58:806	50	0	Норма
3	19-04 22:43:58:806	50	0	Норма
2	19-04 22:33:58:806	50	0	Норма
1	19-04 22:23:58:806	50	0	Норма

Рисунок 1.24 – Панель «Відхилення частоти» за ДСТУ EN50160:2014

7) «Перевірка напруги» - в даному пункті проводиться перевірка на розрахунок відхилення напруги. Відповідно табл. Є.1 додатку Є, усереднення слід

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

проводити з інтервалом кожні 60 с, тобто 1 хв. У випадку «Правди», програма виконує блок додатку Д.

- «Початок» - до функції передаються дані, необхідні для подальшої роботи.

- «Розрахунок усередненого U_y , δU_y » - в даному пункті проводиться усереднення відхилення напруги за формулою та δU_y за формулою даної роботи.

- «Збереження даних» - в даному пункті проводиться збереження даних про відхилення напруги, а також відліки часу для подальшого виводу даних до таблиць.

- «Кінець» - проводиться вихід із даної функції.

На рис. 1.25 та рис. 1.26 Зображено результати вимірювань та розрахованих даних.

ГОСТ 13109-97		ДСТУ EN50160:2014		
№	Час	Значення, В	Delta, %	Характеристика
7	19-04 23:23:58:806	225.2100	2.3700	Норма
6	19-04 23:13:58:806	224.5800	2.0800	Норма
5	19-04 23:03:58:806	223.4500	1.5700	Норма
4	19-04 22:53:58:806	222.3900	1.0900	Норма
3	19-04 22:43:58:806	221.8400	0.8400	Норма
2	19-04 22:33:58:806	222.2500	1.0200	Норма
1	19-04 22:23:58:806	222	0.9100	Норма

Рисунок 1.25 - Панель «Відхилення напруги» за ДСТУ EN50160:2014

ГОСТ 13109-97		ДСТУ EN50160:2014		
№	Час	Значення, В	Delta, %	Характеристик
70	19-04 23:23:58:806	225.4800	2.4900	Норма
69	19-04 23:22:58:806	225.9100	2.6900	Норма
68	19-04 23:21:58:806	225.3700	2.4400	Норма
67	19-04 23:20:58:806	225.0000	2.2700	Норма
66	19-04 23:19:58:806	225.2900	2.4100	Норма
65	19-04 23:18:58:806	225.1500	2.3400	Норма
64	19-04 23:17:58:806	224.9900	2.2700	Норма
63	19-04 23:16:58:806	224.9400	2.2400	Норма
62	19-04 23:15:58:806	225.0000	2.2700	Норма
61	19-04 23:14:58:806	225.0000	2.2700	Норма

Рисунок 1.26 - Панель «Відхилення напруги» за ГОСТ 13109-97

8) «Перевірка несинусоїдальності» - в даному блоці проводиться розрахунок коефіцієнта несинусоїдальності, а також коефіцієнта викривлення напруги. Відповідно табл. Є.1 додатку Є, усереднення слід проводити кожні 3 с. Перевірка відбувається відносно часу таймера попереднього значення та діючого значення часу на момент роботи програми. Принцип роботи програми ображено в блок-схемі додатку Е.

- «Початок» - до функції передаються дані, необхідні для подальшої роботи.

- «Визначення коефіцієнта n -ої гармонічної складової напруги $K_{(n)i}$ » - даний блок необхідний для розрахунку коефіцієнта n -ої гармонічної складової напруги $K_{(n)i}$. Даний параметр розраховується відповідно формули (1.13) даної роботи. Одиниці виміру - %.

					MP 3.8.14.1.428 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

- «Визначення коефіцієнта викривлення напруги K_U » - даний блок необхідний для розрахунку коефіцієнта викривлення напруги K_U . Даний параметр визначається за формулою (1.16) даної роботи. Одиниці виміру - %.

- «Збереження даних» - в даному блоці проводиться порівняння максимального значення $K_{(n)i}$ та K_U окремо, які зберігаються в окремих змінних, між коефіцієнтами розрахованими в текучій ітерації. У випадку, текучий коефіцієнт більший за минуло знайдений, то обирається текучий коефіцієнт, як за основний та зберігається в тимчасовій змінній.

- «Кінець» - в даному блоці проводиться вихід з даної функції.

На рис. 1.27 Зображено приклад розрахованих даних та їх зображення на панелі «Синусоїдальність».

n	$K_u(n)_i$	$K(n)_{нд}$	$K(n)_{пз}$
1	100	100.0000	150.00
2	0	2.0000	3.00
3	15.2654	5.0000	7.50
4	0	1.0000	1.50
5	5.9372	6.0000	9.00
6	0	0.5000	0.80
7	2.4244	5.0000	7.50
8	0	0.5000	0.80
9	0.3855	1.5000	2.30
10	0	0.5000	0.80
11	0.4004	3.5000	5.30
12	0	0.2000	0.30
13	0	3.0000	4.50
14	0	0.2000	0.30

Квир %

Рисунок 1.27 – Панель «Синусоїдальність»

9) «Тимчасова перенапруга» - в даному блоці проводиться розрахунок та вивід даних пов'язаний з тимчасовою перенапругою. Дана блок-схема має складну структуру умовних операторів та циклів. Основною ідеєю даного блоку – визначення часу початку перенапруги та максимальної напруги для подальшого визначення коефіцієнта перенапруги. Принцип роботи програми ображено в блок-схемі додатку Ж.

На рис. 1.28 зображено зовнішній вид панелі «Перенапруга».

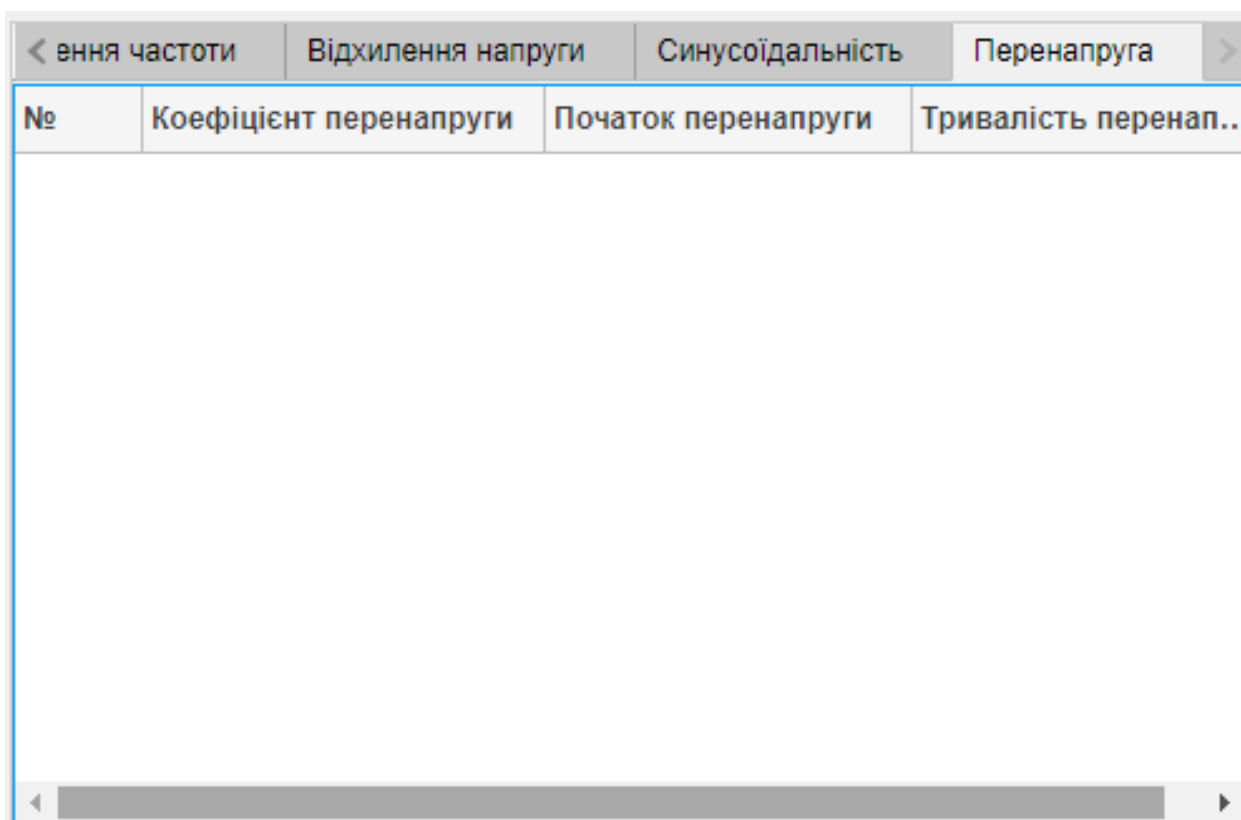


Рисунок 1.28 – Панель «Тимчасова перенапруга»

10) « Вивід даних» - в даному блоці проводиться вивід даних до таблиць, оновлення таблиць, оновлення графіків «Амплітуди напруги» та «Амплітудно-частотний спектр» рис. 1.29 та рис. 1.30.

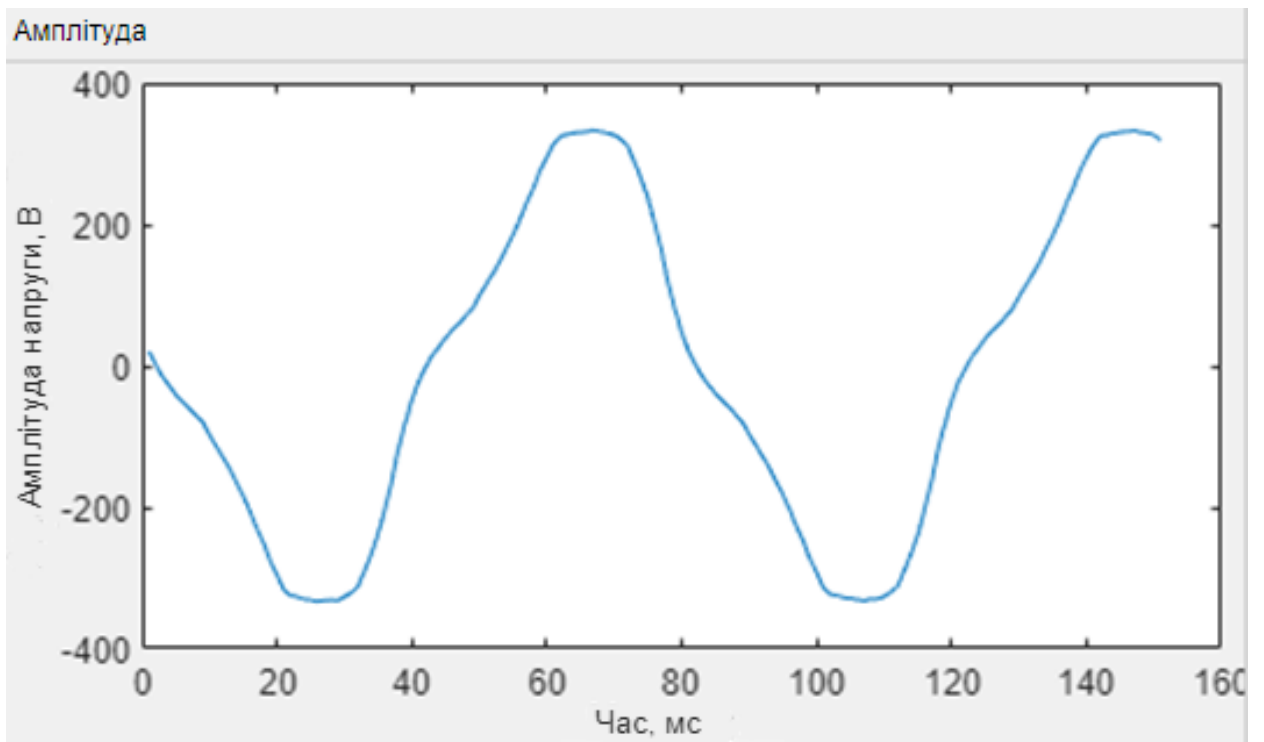


Рисунок 1.29 – Графік «Амплітуда напруги»

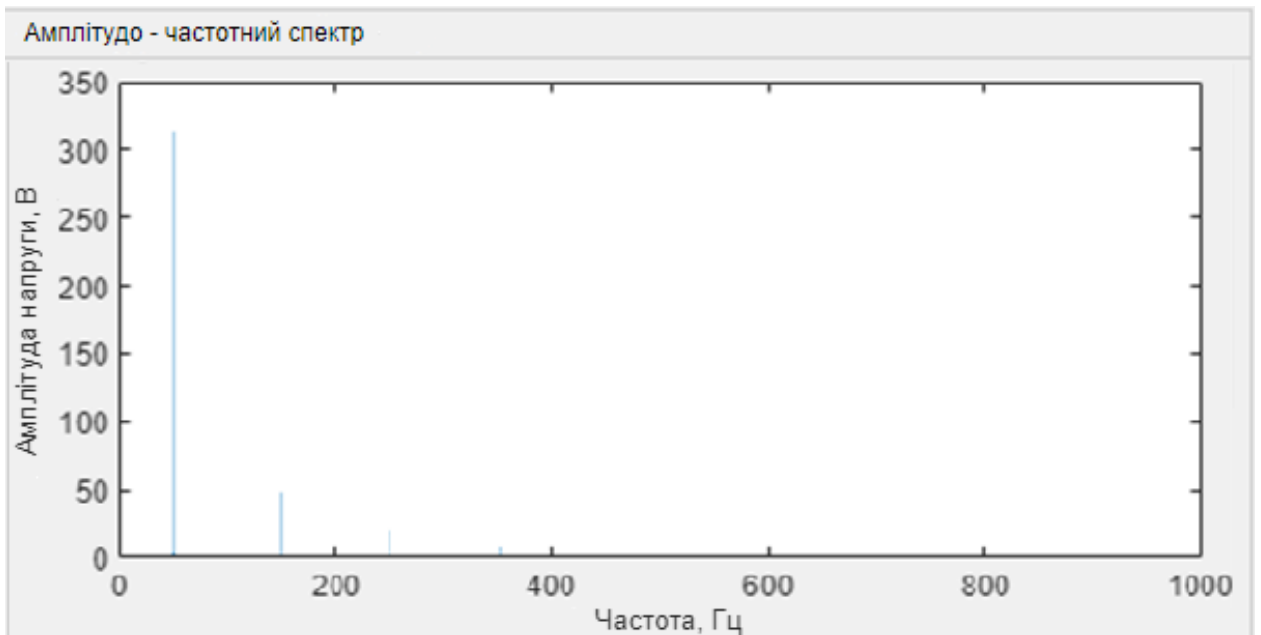


Рисунок 1.30 – Графік «Амплітудно-частотний спектр»

Крім того, будуються графіки відповідно пункту 6 та 7 даного розділу, як показано на рис. 1.31 – 1.34.

					MP 3.8.14.1.428 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

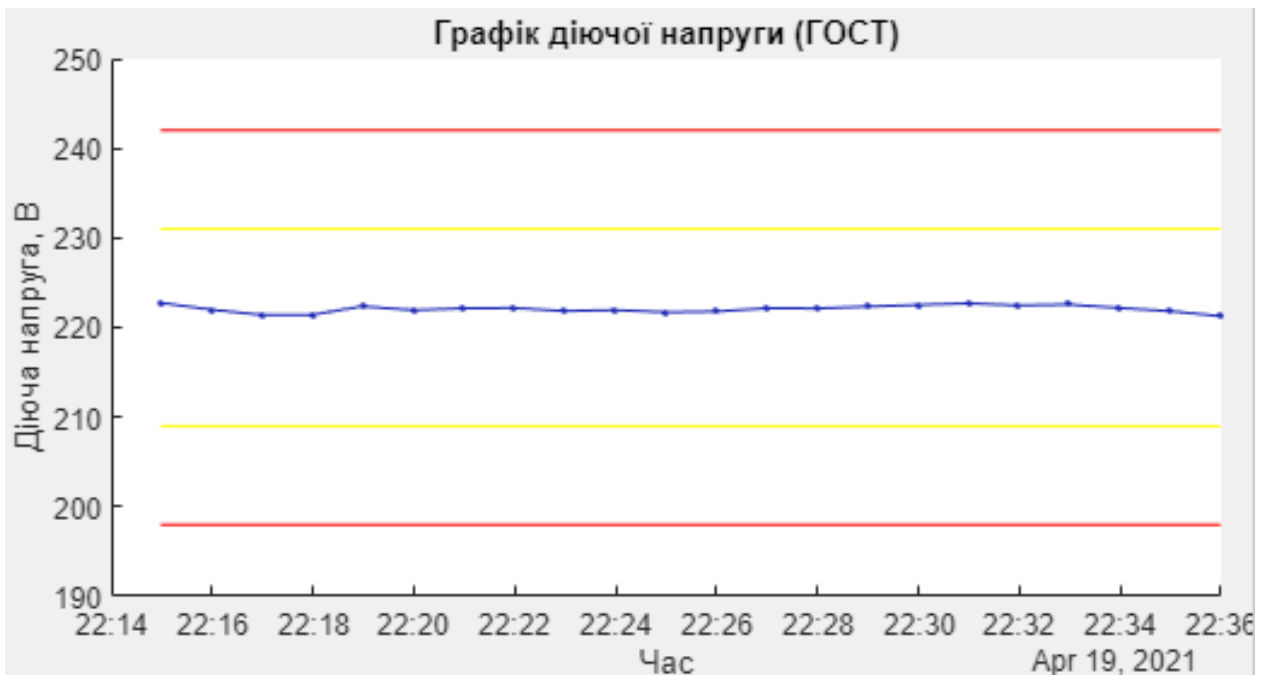


Рисунок 1.31 – Графік діючої напруги визначений за ГОСТ 13109-97

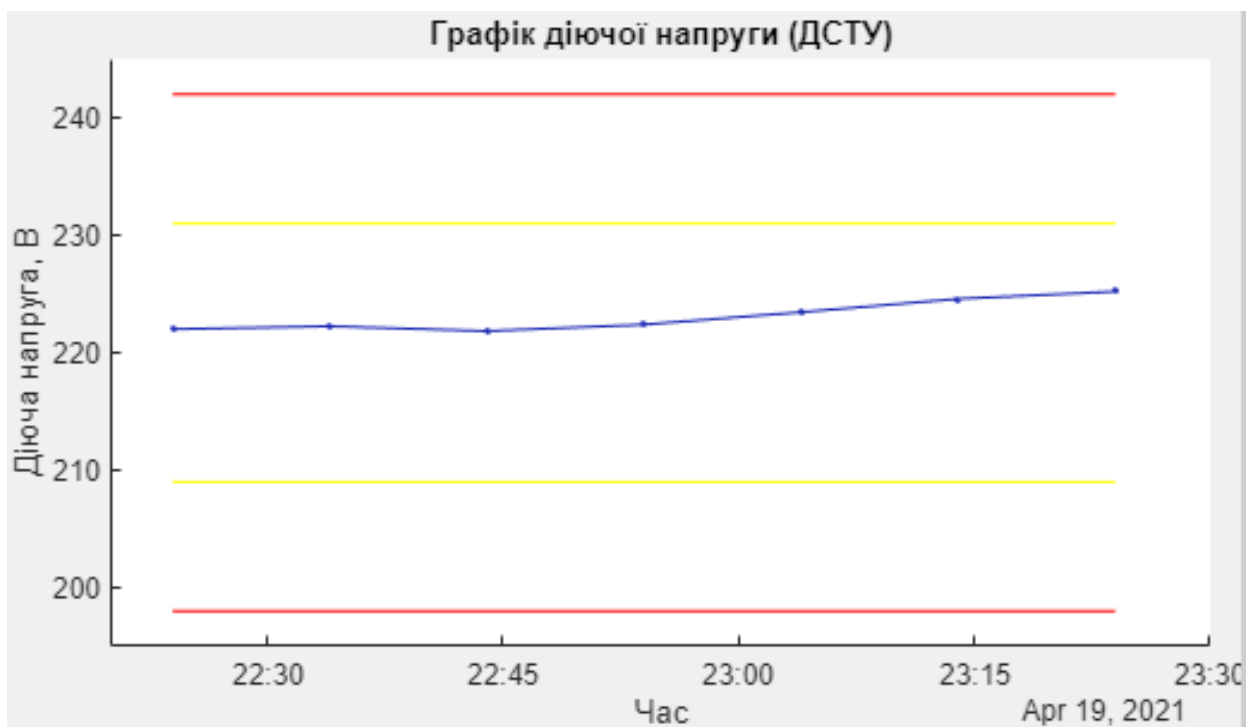


Рисунок 1.32 – Графік діючої напруги визначений за ДСТУ EN50160:2014

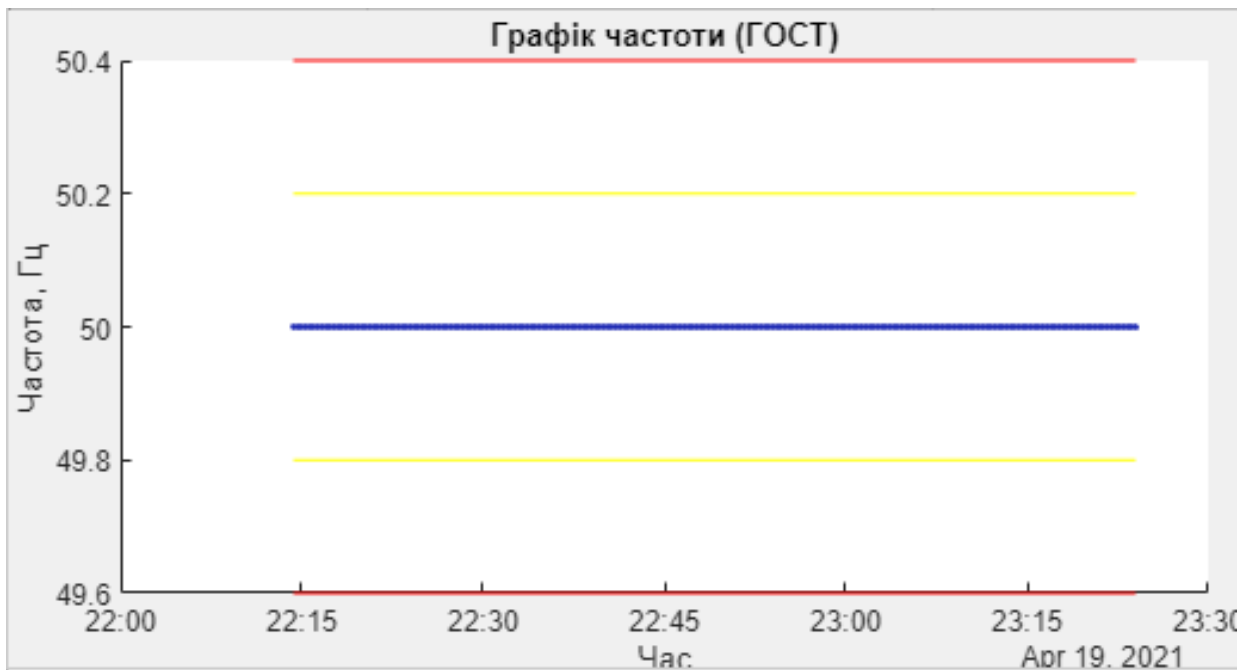


Рисунок 1.33 – Графік частоти визначений за ГОСТ 13109-97



Рисунок 1.34 – Графік частоти визначений за ДСТУ EN50160:2014

10) «Перевірка кнопки «Стоп»» - в даному блоці проводиться перевірка на відкритого прапорця «Стоп».

1.4 Висновок по розділу

В даному розділі було проведено аналіз та описано методики розрахунку основних показників якості електроенергії у відповідності до діючих міжнародних стандартів та нормативних документів України, а саме ГОСТ 13109-97 та ДСТУ EN50160:2014. Розроблено алгоритми, що дозволяють автоматизовано розраховувати основні показники якості електричної енергії вимірюваних сигналів із використанням сучасних технологій: відхилення амплітуди напруги та частоти, коефіцієнта n -ої гармонічної складової напруги, коефіцієнта викривлення синусоїдальної кривої напруги та тимчасової перенапруги у відповідності до вимог.

Розроблено вимірювальний комплекс для аналізу амплітудно-частотного спектру однофазних електричних мереж напругою 220 В. Проведено ряд технічних та програмних процедур для налаштування плати збору даних. Розраховано та технічно виконано дільник напруги та створено гальванічну розв'язку кіл виміру від досліджуваної схеми за допомогою двообмоткового трансформатора.

У програмному комплексі MatLAB розроблено програму забезпечення «PQI», що здійснює обробку вимірюваного сигналу та аналіз основних показників якості електроенергії у відповідності до ГОСТ 13109-97 та ДСТУ EN50160:2014. Програмний продукт, розроблений у даному розділі, дозволяє проводити автоматизований вимір напруги та розрахунок усталеного відхилення частоти та напруги, коефіцієнта n -ої гармонічної складової напруги та коефіцієнта викривлення напруги.

					MP 3.8.14.1.428 ПЗ	Арк.
						70
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ

2.1 Розрахунок захисного заземлення

Загальні вимоги електробезпеки повинні відповідати нормативним документам [30]. Для захисту від уражень електричним струмом використовують захисне заземлення. Воно повинно захищати людей від уражень електричним струмом у випадку дотику до металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитись під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, це досягається з'єднанням металевих частин електроустановок з землею, або її еквівалентом [31].

Згідно з класифікацією приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом [32], приміщення в якому проводяться всі роботи відносяться до першого класу (без підвищеної небезпеки). Під час роботи використовуються електроустановки з напругою живлення 36 В, 220 В, та 380 В. Опір контуру заземлення повинен мати не більше 4 Ом [31,32].

Розрахунок проводять за допомогою методу коефіцієнта використання (екранування) електродів. Основна ідея якого полягає у використанні групового коефіцієнта заземлювача η , що є відношенням діючої провідності цього заземлювача до найбільш можливої його провідності за нескінченно великих відстаней між його електродами [31–34].

Коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів η_e в залежності від розміщення заземлювачів та їх кількості знаходиться в межах 0,4...0,99. Взаємну екрануючу дію горизонтального заземлювача (з'єднувальної смуги) враховують за допомогою коефіцієнта використання горизонтального заземлювача η_z [31].

					<i>МР 3.8.14.1.428 ЕТ.м-01 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ніконов</i>			<i>Розробка вимірювальної системи та програмного комплексу для збору та аналізу параметрів якості електроенергії</i>	<i>Лит.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Петровський</i>					71	100
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ ЕТ.м-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Никифоров</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Лебединський</i>						

Розрахунок показано в наступних пунктах за алгоритмом розрахунку [31,32,35].

У відповідності до вимог [32] визначаємо допустимий опір розтіканню струму в заземленні:

$$R_3 = 4 \text{ Ом (для мереж з напругою до 1000 В).}$$

Визначаємо питомий опір ґрунту, $\rho_{\text{табл}} = 100 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, який рекомендовано для розрахунків.

Визначаємо підвищувальні коефіцієнти для труб вертикальних заземлювачів $K_{\text{П.Т}} = 1,4$ та для з'єднувальної полоси $K_{\text{П.С}} = 2$, які враховують зміну опору ґрунту в різні пори року залежно від наявності опадів.

Знаходимо питомий розрахунковий опір ґрунту для вертикальних електродів (труб або стрижнів) з урахуванням несприятливих умов за допомогою підвищувального коефіцієнта:

$$\rho_{\text{роз.т}} = \rho_{\text{табл}} \cdot K_{\text{П.Т}} = 100 \cdot 1,4 = 140 \text{ Ом} \cdot \text{см}.$$

Визначаємо питомий розрахунковий опір ґрунту для горизонтального заземлювача (з'єднувальної смуги):

$$\rho_{\text{роз.л}} = \rho_{\text{табл}} \cdot K_{\text{П.С}} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{см}.$$

Розраховуємо відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача:

$$t = h_3 + \frac{l_{\text{мп}}}{2} = 0,7 + \frac{1}{2} = 1,2 \text{ см}.$$

Знаходимо опір розтіканню струму для одиночного вертикального заземлювача, який розташований нижче від поверхні землі:

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

$$R_{роз.Т} = 0,366 \frac{\rho_{роз.м}}{l_{мп}} \left(\lg \frac{2l_{мп}}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t + l_{мп}}{4t - l_{мп}} \right) =$$

$$= 0,366 \frac{1400}{1} \left(\lg \frac{2 \cdot 1}{0,012} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 0,7 + 1}{4 \cdot 0,7 - 1} \right) = 60,2 \text{ Ом}$$

Визначаємо відстань між вертикальними заземлювачами $h_{см}$ із співвідношення $c = \frac{L_{см}}{l_{мп}}$. Для стаціонарних заглиблених заземлювачів це співвідношення береться таким:

$$c = 1 \quad L_{см} = l_{мп} \cdot c = 1 \cdot 1 = 1 \text{ см}$$

Розраховуємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів без урахування коефіцієнта екранування:

$$n_T = \frac{R_{розТ}}{R_3} = \frac{92,78}{4} = 23 \text{ шт}$$

Знаходимо коефіцієнт екранування заземлювачів $n_{Е.Т} = 0,48$ при числі $n_T = 23 \text{ шт}$.

Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнта екранування:

$$n_{Т.Е} = \frac{R_{роз.Т}}{R_3 \cdot n_{Е.Т}} = \frac{92,78}{4 \cdot 0,48} = 48,3 = 49 \text{ шт}$$

Знаходимо розрахунковий опір розтіканню струму при взятому числі вертикальних заземлювачів

					MP 3.8.14.1.428 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

$$R_{роз.н_{Т.Е}} = \frac{R_{роз.Т}}{n_{Т.Е} \cdot n_{Е.Т}} = \frac{92,78}{49 \cdot 0,48} = 3,945 \text{ Ом}$$

Знаходимо довжину з'єднувальної смуги

$$L_{3.C} = 1,05 \cdot L_{см} (n_{Т.Е} - 1) = 1,05 \cdot 1(49 - 1) = 50,4 \text{ см}$$

Визначаємо опір розтіканню струму в з'єднувальній смугі:

$$R_{3.C} = 0,366 \frac{\rho_{роз.н}}{L_{3.C}} \lg \frac{2L_{3.C}^2}{h_3 \cdot b_c} = 0,366 \cdot \frac{2000}{50,4} \lg \frac{2 \cdot 50,4^2}{0,7 \cdot 0,012} = 1,56 \text{ Ом}$$

Знаходимо коефіцієнт екранування для з'єднувальної смуги:

$$n_{Е.3.C} = 0,4$$

Визначаємо розрахунковий опір для розтікання електричного струму в з'єднувальній смугі з урахуванням коефіцієнта екранування:

$$R_{роз.С} = \frac{R_{3.C}}{n_{ЕС} \cdot n_{Е.3.C}} = \frac{1,56}{1 \cdot 0,4} = 3,9 \text{ Ом}$$

Знаходимо загальний розрахунковий теоретичний опір розтіканню струму від вертикальних заземлювачів та з'єднувальної смуги:

$$R_{заг.роз} = \frac{1}{\frac{1}{R_{роз.Т}} + \frac{1}{R_{роз.С}}} = \frac{1}{\frac{1}{60,2} + \frac{1}{3,9}} = 3,66$$

					MP 3.8.14.1.428 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Занесімо розраховані величини до результуючої схеми на рис. 2.1.

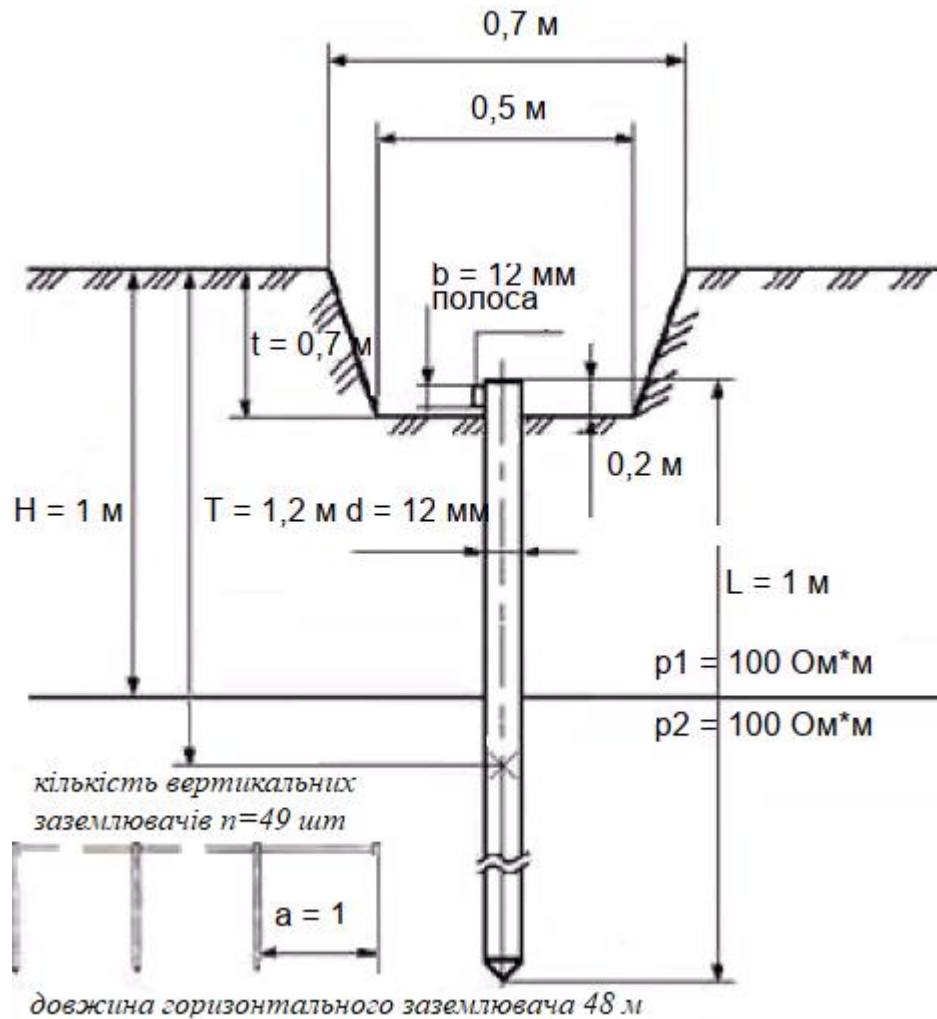


Рисунок 2.1 – Схема розташування заземлювачів

2.2 Висновок по розділу

В даній частині, розраховано кількість заземлювачів для лабораторії, при проведення дослідів по вимірювання показників якості електроенергії, описана вище. Результат розрахунку показав що для заземлення даної дослідницького пункту, в третій кліматичній зоні, тип ґрунту – суглинок, необхідно 49 заземлювачів, із урахування що, відстань між ними складатиме 1 м. Довжина даної конструкції складе 48 м. Тип заземлювача – пруток.

										Арк.
										75
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Equation Chapter (Next) Section 1

Створення нової розробки передбачає розрахунок економічного ефекту від її впровадження. Новий продукт повинен бути вигідним не тільки для розробника, а й для споживача, оскільки метою його придбання є зменшення витрат часу, ресурсів, точність результатів роботи. Тому, необхідно оцінити економічний ефект для всіх сторін. Для цього в економічній частині потрібно розрахувати [36]:

- кошторис витрат на розробку продукту;
- ціну реалізації;
- прибуток від реалізації;
- експлуатаційні витрати споживача, пов'язані з використанням розробки;
- умовний обсяг робіт при застосуванні продукту;
- річний економічний ефект для споживача від впровадження нового
- термін окупності витрат для виробника.

3.1 Опис ідеї проекту, можливість приладу та вигоди користувача

Об'єктом дослідження виступає аналізатор «PQI». Даний аналізатор є функціональним, адже він дає можливість користувачу вимірювати показники якості електричної в однофазних мережах. Окрім того, він повністю прибирає необхідність розрахунків певних параметрів та відхилень власноруч. Аналізатор сам вимірює та зберігає показники. А завдяки програмному забезпеченню, обробляє та архівує отримані результати вимірювань показників якості електроенергії на персональний комп'ютер. В табл. 3.1 показано ідеї проекту та вигоди користувача.

Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата				
					<i>MP 3.8.14.1.428 ET.M-01 ПЗ</i>			
Розроб.		Ніконов			<i>Розробка вимірювальної системи та програмного комплексу для збору та аналізу параметрів якості електроенергії</i>	Лит.	Аркуш	Листів
Перевір.		Маценко					76	100
Реценз.						<i>СумДУ ET.M-01</i>		
Н. Контр.		Никифоров						
Затверд.		Лебединський						

Таблиця 3.1 – Опис ідеї проекту

Зміст	Напрямки застосування	Вигоди користувача
Застосування аналізатора якості електроенергії «PQI»	Підключення до однофазних мереж живлення загального користування	Живлення аналізатору як від мережі 220В, так і від батареї
	Визначення показників якості електричної енергії, які затверджені діючими державними стандартами	Користувач може власноруч обирати, які показники необхідно вимірювати в налаштуваннях
	Розрахунок можливих похибок на відхилень від нормованих значень	Можливість аналізу отриманих результатів вимірювання

3.2 Розрахунок кошторису витрат та часу на розробку вимірювальної системи та програмного продукту

Умовна кількість команд Q визначається за формулою (3.1) [36]:

$$Q = q \cdot C \quad (3.1)$$

де q - коефіцієнт, який враховує умовне число команд в залежності від типу задачі. Значення даного коефіцієнта q у обираємо рівним 1000.

C - коефіцієнт, який враховує новизну та складність програми.

У відповідності до третьої групи складності та до рівня новизни B визначаємо значення коефіцієнту C . Він рівний 1.00

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Підставимо дані значення у формулу (3.1) можна визначити умовне число команд Q .

$$Q = q \cdot C = 1000 \cdot 1,0 = 1000$$

Трудомісткість розробки програмного продукту (t) визначається за формулою [36,37]:

$$t = 3,6 \cdot \eta_{m.в.к}^{1,2} \text{ люд.міс} \quad (3.2)$$

де $\eta_{m.в.к}$ - число тисяч команд програмного коду.

Візьмемо $\eta_{m.в.к} = 3$. Тоді $t = 3,6 \cdot 3^{1,2} = 13 \text{ люд.міс}$

Загальна тривалість розробки ПП (T) визначається за формулою (3.3):

$$T = 2,5 \cdot t^{0,32} = 2,5 \cdot 13^{0,32} = 5,6 \text{ міс} \quad (3.3)$$

Середня кількість виконавців $PL_{вик}$ розраховується виходячи з трудомісткості та тривалості розробки ПП за формулою (3.4):

$$PL_{вик} = \frac{t}{T} = \frac{13}{5,6} = 2 \text{ чол} \quad (3.4)$$

Продуктивність праці групи розробників ПП ($П_p$):

$$П_p = 1000 \cdot \frac{\eta_{m.в.к}}{t} = 1000 \frac{3}{13} = 230 \text{ вихідних команд/люд.-міс}$$

Далі визначаємо час, необхідний для виконання кожного етапу створення програмного продукту:

1) ТПО (час на підготовку опису завдання , год) береться за фактом:

ТПО = 30.

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
						78
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) T_o (час на опис завдання, год) визначається за формулою (3.5):

$$T_o = \frac{Q \cdot B}{50 \cdot K} = \frac{1000 \cdot 1,2}{50 \cdot 0,8} = 30 \quad (3.5)$$

де B - коефіцієнт урахування змін завдання, коефіцієнт B в залежності від складності завдання і кількості змін обирається в інтервалі від 1,2 до 1,5. Виберемо $B=1.2$

K – коефіцієнт, що враховує кваліфікацію програміста 1,5 роки буде рівним $K=0.8$

3) T_A (час на розробку алгоритму, год) і ТБС (час на розробку блок - схеми, год) розраховуємо за формулою (3.6):

$$T_A = \frac{Q}{50 \cdot K} = \frac{1000}{50 \cdot 0,8} = 25 \quad (3.6)$$

4) T_H (час написання програми мовою програмування, год) (3.7):

$$T_H = \frac{Q \cdot 1,5}{50 \cdot K} = \frac{1000 \cdot 1,5}{50 \cdot 0,8} = 37,5 \quad (3.7)$$

5) T_{HT} (час налагодження та тестування програми, год) визначається за формулою (3.8):

$$T_{HT} = \frac{Q \cdot 4,2}{50 \cdot K} = \frac{1000 \cdot 4,2}{50 \cdot 0,8} = 105 \quad (3.8)$$

6) T_D (час витрачений на оформлення документації, год) рівний 40 год.

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Тепер, знаючи час, витрачений на кожному етапі, можна підрахувати загальний час на створення програмного продукту за виразом (3.9):

$$T_3 = T_{ПО} + T_O + T_A + T_{BC} + T_H + T_{HT} + T_D = 30 + 30 + 25 + 37,5 + 105 + 40 = 267,5 \text{ год} \quad (3.9)$$

3.3 Розрахунок заробітної плати виконавця робіт зі створення програмного продукту

1. Основна заробітна платня (ЗП, грн) визначається за формулою (3.10) [37]:

$$ЗП_{осн}^{вик} = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ грн} \quad (3.10)$$

де, M – місячний посадовий оклад інженера-програміста: $M = 11600$ грн. [30]

T_p – число робочих днів в місяці, $T_p = 22$; t – число днів роботи розробника, $t = \frac{267}{24} = 11$.

$$ЗП_{осн}^{вик} = \frac{M}{T_p} \cdot t = \frac{11600}{22} \cdot 11 = 5800 \text{ грн}$$

2. Додаткова заробітна платня (грн.) визначається за формулою (3.11):

$$ЗП_{дод} = ЗП_{осн}^{вик} \cdot D = 5800 \cdot 0,1 = 580 \text{ грн} \quad (3.11)$$

де D – відсоток додаткової заробітної платні, який рівний $D = 1\%$

Загальна заробітна платня визначається як сума основної і додаткової:

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

$$ЗП = \frac{(ЗП_{осн}^{вик} + ЗП_{дод}) \cdot 22}{100} = \frac{(5800 + 580) \cdot 22}{100} = 1404 \text{ грн}$$

3.4 Розрахунок витрат на утримання та експлуатацію персонального комп'ютера

Основою для розрахунку видатків на утримання та експлуатацію персонального комп'ютера, що відносяться до даного програмного продукту, є собівартість 1-єї машино-години роботи машини, тобто витрати, які виконуються за годину роботи на комп'ютері при створенні чи експлуатації програми, і визначається за формулою [36,38] (3.12):

$$C_{M.год} = \frac{B_{сум}}{T_{роб}} \frac{\text{грн}}{\text{год}} \quad (3.12)$$

де $B_{сум}$ – сумарні річні витрати (грн), $T_{роб}$ – час роботи комп'ютера, який визначається як добуток кількості робочих днів на час роботи комп'ютера в день (год), помножені на коефіцієнт (0,9), що позначає ремонт і профілактику обладнання.

$$T_{роб} = 267,5 \cdot 0,9 = 240,75 \text{ год}$$

$$B_{сум} = B_{ЕН} + B_M + B_{проф} + ЗП_{обсл}^{осн} + ЗП_{обсл}^{дод} + B_{обсл}^{ЕСВ}$$

Спочатку визначимо річні витрати кожного компонента собівартості ($B_{сум}$), до числа яких входять:

1. Витрати на електроенергію:

$$B_{ЕН} = B_{ПК} + B_{ОСВ} \text{ грн,}$$

					MP 3.8.14.1.428 ПЗ	Арк.
						81
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $B_{ПК}$ - витрати електроенергії на роботу ЕОМ, $B_{ОСВ}$ – витрати на освітлення приміщення, які визначаються як:

$$B_{ПК} = T_{роб} \cdot Ц \cdot P = 240,75 \cdot 1,68 \cdot 1,3 = 252,7 \text{ грн}$$

$$B_{ОСВ} = T_{роб} \cdot Ц \cdot P = 240,75 \cdot 1,68 \cdot 0,7 = 283,1 \text{ грн}$$

де $T_{роб}$ – тривалість роботи за комп'ютером в рік (год), $Ц$ - вартість 1 кВт електроенергії (грн) [39], P – потужність ПК або освітлювальних приладів.

$$\text{Тоді: } B_{ЕН} = B_{ПК} + B_{ОСВ} = 252,7 + 283,1 = 535,8 \text{ грн}$$

2. Витрати на оплату праці (основної та додаткової) працівникам, які забезпечують функціонування ЕОМ. До них належать:

- інженер

$$ЗП_{обсл}^{осн} = \frac{З^1 \cdot K_T}{H_{обсл}} = \frac{11600 \cdot 1,54}{11} = 1624 \text{ грн}$$

$$ЗП_{дод}^{вик} = П_{обсл}^{осн} \cdot Д = 1624 \cdot 0,1 = 162,4 \text{ грн}$$

$$B_{ЕСВ} = \frac{(ЗП_{дод}^{вик} + ЗП_{обсл}^{осн}) \cdot 22}{100} = 393 \text{ грн}$$

- системний програміст

$$ЗП_{обсл}^{осн} = \frac{З^1 \cdot K_T}{H_{обсл}} = \frac{11600 \cdot 1,54}{26} = 687 \text{ грн}$$

$$ЗП_{дод}^{вик} = П_{обсл}^{осн} \cdot Д = 687 \cdot 0,1 = 68,7 \text{ грн}$$

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
						82
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$B_{ССВ} = \frac{(3П_{дод}^{вик} + 3П_{обсл}^{осн}) \cdot 22}{100} = 166 \text{ грн}$$

- оператор набору

$$3П_{обсл}^{осн} = \frac{3^1 \cdot K_T}{H_{обсл}} = \frac{11600 \cdot 1,36}{10} = 1577 \text{ грн}$$

$$3П_{дод}^{вик} = П_{обсл}^{осн} \cdot Д = 1577 \cdot 0,1 = 157,7 \text{ грн}$$

$$B_{ССВ} = \frac{(3П_{дод}^{вик} + 3П_{обсл}^{осн}) \cdot 22}{100} = 381 \text{ грн}$$

3. Витрати на витратні матеріали B_M (папір, CD/DVD-диски, картридж тощо.) беруться за фактом і становлять 2 % від вартості обчислювальної техніки.

$$B_M = 500 \text{ грн}$$

4. Витрати на профілактику $B_{проф}$ становлять 3% від балансової вартості ПЕОМ з периферією.

$$B_{проф} = 750 \text{ грн}$$

5. Амортизаційні відрахування в рік A визначаються як відношення балансової вартості ПЕОМ до кількості років експлуатації N_p :

$$A = \frac{B_о}{N_p} = \frac{2500}{3} = 833 \text{ грн}$$

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

Визначивши загальну суму витрат $B_{\text{сум}}$, одержимо собівартість 1-єї машино-години роботи ЕОМ.

$$B_{\text{сум}} = 535,8 + 500 + 750 + 1624 + 687 + 1577 + 833 = 6506,8 \text{ грн}$$

6. Витрати на утримання та експлуатацію персонального комп'ютера, що відносяться до створення даного програмного забезпечення.

Знаючи собівартість 1 години роботи на ПЕОМ і час створення ПП за формулою (3.12), можна визначити витрати на утримання й експлуатацію ПЕОМ при розробці ПП:

$$C_{\text{М.год}} = \frac{B_{\text{сум}}}{T_{\text{роб}}} = \frac{6506,8}{240,75} = 27 \frac{\text{грн}}{\text{год}}$$

3.5 Розрахунок собівартості програмного продукту

Собівартість програмного продукту визначається загальними витратами на виготовлення програмного продукту і обчислюється з використанням таких показників:

1. Основна заробітна плата виконавця робіт зі створення програмного продукту (грн.).
2. Додаткова заробітна плата виконавця робіт зі створення програмного продукту (грн.).
3. Нарахування на заробітну плату (єдиний соціальний податок).
4. Витрати на утримання і експлуатацію ПЕОМ, що відносяться до програмного продукту.

Знайдемо собівартість програмного продукту додавши дані значення:

$$C_{\text{ПП}} = 3П_{\text{обсл}}^{\text{осн}} + 3П_{\text{дод}}^{\text{вик}} + B_{\text{ПП}} = 5800 + 580 + 6506,8 = 12886,8 \text{ грн}$$

					<i>MP 3.8.14.1.4.28 ПЗ</i>	Арк.
						84
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.6 Розрахунок вартості (ціни) програмного продукту.

Вартість (ціна) програмного продукту, запропонована розробником, визначається за формулою (3.13):

$$Ц = C_{III} \left(1 + \frac{P}{100} \right) = 12886 \cdot \left(1 + \frac{40}{100} \right) = 18040 \text{ грн} \quad (3.13)$$

де C_{III} – загальні витрати на створення програмного продукту (грн.),
 P – рентабельність розробки (40 %).

3.7 Висновок по розділу

У ході виконання даної частини дипломної роботи на основі розрахунків було показано, що запропонований програмний продукт є економічно ефективним як для розробника, так і для споживача. Оскільки, даний продукт складається ще й із апаратного забезпечення, даний проект потребує розробки в даному напрямку і відповідно розрахунків собівартості. Якщо порівнювати дане програмне забезпечення із вартістю приладів і програмного забезпечення аналогів [40–44], то даний програмний продукт являється конкурентоспроможним на ІТ-ринку.

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

ВИСНОВОК

В роботі проведено аналіз та описано методики розрахунку основних показників якості електроенергії у відповідності до діючих міжнародних стандартів та нормативних документів України.

Розроблено алгоритми, що дозволяють розраховувати основні показники якості електричної енергії вимірюваних сигналів: відхилення амплітуди напруги та частоти, коефіцієнта n -ої гармонічної складової напруги, коефіцієнта викривлення синусоїдальної кривої напруги та тимчасової перенапруги у відповідності до вимог ДСТУ EN 50160:2014 та ГОСТ 13109-97.

Розроблено вимірювальний комплекс в якому поєднано алгоритми аналізу ряду показників якості електроенергії на основі швидкого перетворення Фур'є. Проведено ряд технічних та програмних процедур для налаштування плати збору даних. Розраховано та технічно виконано подільник напруги та створено гальванічну розв'язку кіл виміру від досліджуваної схеми за допомогою двообмоткового трансформатора.

У програмному комплексі MatLAB, розроблено програму забезпечення «PQI», що здійснює обробку вимірюваного сигналу та аналіз основних показників якості електроенергії у відповідності до ДСТУ EN 50160:2014 та ГОСТ 13109-97. Програмний продукт дозволяє проводити автоматизований вимір напруги та розрахунок усталеного відхилення частоти та напруги, коефіцієнта n -ої гармонічної складової напруги та коефіцієнта викривлення напруги.

Вище зазначені параметри є основними при оцінці показників якості електричної енергії у електричних мережах нашої країни. Використання розробленого програмного забезпечення «PQI» дозволяє аналізувати і фіксувати відхилення основних параметрів якості електричної енергії на основі яких виробляти рекомендації по оптимізації режимів роботи електричних мереж для усунення небажаних явищ для побутових споживачів та зменшення втрат електроенергії в мережах постачальника електроенергії.

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Якість електричної енергії [Electronic resource]. URL: <https://zper.com.ua/wp-content/uploads/2020/05/Якісні-характеристики-електричної-енергії.pdf> (accessed: 18.11.2021).
2. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Минск: ИПК Изд-во стандартов, 1998. с. 30.
3. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності: ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT). [Чинний з 1.10.2014]. // Нац. Стандарт України. Київ: чінекономрозвитку України, 2014. 27 с.
4. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. М.: Энергоатомиздат, 2000. 252 р.
5. Суржиков М.В. Підвищення точності визначення показників якості електричної енергії. Місце захисту: Національний технічний університет України «київ-ський політехнічний інститут імені ігоря сікорсь-кого», 2018. 110 р.
6. ДСТУ ІЕС 61000-4-30:2010 Електромагнітна сумісність. Частина 4-30. Методи випробування та вимірювання. Вимірювання показників якості електричної енергії (ІЕС 61000-4-30:2008, IDT). [Чинний з 01.07.2012]. // К.: Держстандарт України. 2010. с. 125.
7. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров: Определения, теоремы, формул. М.: Книга по Требованию, 2014. 832 р.
8. Юкио С. Обработка сигналов. Первое знакомство. Додэка XXI, 2002. 172 р.
9. Vieira L. An Interactive Guide To The Fourier Transform [Electronic resource]. 2012. URL: <https://betterexplained.com/articles/an-interactive-guide-to-the-fourier-transform/> (accessed: 18.11.2021).

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

10. Oberst U. The Fast Fourier Transform // SIAM J. Control Optim. 2007. Vol. 46, № 2. P. 496–540.

11. Синьков М.В., Закидальський Є.О., Цибульська Є.О. Алгоритм обчислення одновимірної згортки з використанням гіперкомплексних чисел // Інститут Проблем Реєстрації Інформації НАН України. 2009. № 1(2). P. 20–26.

12. Грицутенко С.С. Повышение достоверности измерения показателей качества электрической энергии в системе тягового электроснабжения. Место защиты: Омский государственный университет путей сообщения, 2007. 154 p.

13. Елизаров Д.А. Повышение точности оценки показателей несинусоидальности напряжения в электроэнергетических системах. Место защиты: Омский государственный университет путей сообщения, 2014. 154 p.

14. Quinn B.G. Estimating Frequency by Interpolation using Fourier Coefficients // IEEE Trans. Signal Process. 1994. Vol. 42, № 5. P. 1264–1268.

15. Quinn B.G. Estimation of frequency, amplitude, and phase from the DFT of a time series // IEEE Trans. Signal Process. 1997. Vol. 45, № 3. P. 814–817.

16. Jacobsen E. On local interpolation of DFT outputs // IEEE Trans. Signal Process. 1996. Vol. 44, № 9. P. 2370.

17. Нап. Использование оконных функций в задачах цифрового спектрального анализа. Примеры и рекомендации кратко [Electronic resource]. URL: <https://intellect.icu/ispolzovanie-okonnykh-funktsij-v-zadachakh-tsifrovogo-spektralnogo-analiza-primery-i-rekomendatsii-4872> (accessed: 18.11.2021).

18. Ніконов М.С., Борзенков І.І., Лебединський І.Л. Розробка вимірювальної системи та програмного продукту для збору та аналізу параметрів якості електроенергії: 1(2) // Вісник Національного Технічного Університету «ХПІ» Серія Енергетика Надійність Та Енергоефективність. 2021. № 1(2). P. 86–90.

19. Петровський М.В., Ніконов М.С., Крамський І.О. Вимірювання показників якості електроенергії // Матеріали та програма науково-технічної конференції (ФЕЕ-2019). 2019. Vol. 1, № 1. P. 121–121.

20. Петровський М.В., Ніконов М.С., Крамський І.О. Розробка алгоритмів для вимірювання несинусоїдальності напруги та тимчасової // Матеріали та

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

програма науково-технічної конференції (ФЕЕ-2021). 2021. Vol. 1, № 1. P. 140–141.

21. Технічна інформація програмного забезпечення DAQmx [Electronic resource]. URL: <https://www.ni.com/ru-ru/support/documentation/compatibility/08/archived--ni-daqmx-and-ni-daq-driver-support--scxi.html> (accessed: 01.10.2021).

22. Дільник напруги: пристрій, принцип роботи, призначення [Electronic resource]. URL: <https://irren.com.ua/dilnyk-naprugy-prystrij-pryntsy-p-roboty-pryznachennya.html> (accessed: 23.11.2021).

23. Теоретичні основи електротехніки : конспект лекцій / укладачі: І. Л. Лебединський, В. І. Романовський, Т. М. Загородня. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – 325 с.

24. Руководство пользователя и технические характеристики USB-6008/ PDF Free Download [Electronic resource]. URL: <https://docplayer.com/46274774-Rukovodstvo-polzovatelya-i-tehnicheskie-harakteristiki-usb-6008-6009.html> (accessed: 18.11.2021).

25. USB-6009 Многофункциональное устройство ввода-вывода. URL: <https://www.ni.com/ru-ru/support/model.usb-6009.html> (дата звернення: 16.05.2021) [Electronic resource].

26. Лазарев Ю.Ф. Начала программирования в среде MatLAB: Учебное пособие. К: НТУУ “КПИ,” 2003. 424 р.

27. Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель. М: ДМК Пресс, 2012. 768 р.

28. Изучение амплитудно-частотной характеристики динамической системы в среде MatLab [Electronic resource]. URL: <https://docplayer.com/47543643-Izuchenie-amplitudno-chastotnoy-harakteristiki-dinamicheskoy-sistemy-v-srede-matlab.html> (accessed: 18.11.2021).

29. MATLAB App Designer [Electronic resource]. URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab/app-designer.html> (accessed: 23.11.2021).

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
						89
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

30. Офіційний портал Верховної Ради України [Electronic resource]. URL: <https://www.rada.gov.ua/> (accessed: 23.11.2021).

31. Гуменюк О.Л. Методичні вказівки до проведення розрахунків з розділу ОП в ДП для студентів ОКР бакалавр спеціаліст магістр галузей знань інформатика та обчислювальна техніка менеджмент і адміністрування - Розрахунок захисного заземлення [Electronic resource]. URL: https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/rozrah_rozd_OP_DP_bak_spec_mag/90.html (accessed: 23.11.2021).

32. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. – Київ: Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.

33. Василега, П.О. Електропостачання [Текст]: підручник / П.О. Василега. - Суми: СумДУ, 2019. - 521 с.

34. Василега, П.О. Електротехнологічні установки [Текст] : навч. посіб. / П.О. Василега. - Суми : СумДУ, 2010. - 548 с. + Гриф МОН.

35. Практична робота №4. Розрахунок захисного заземлення [Electronic resource]. URL: http://ohorona-praci.ucoz.ua/OPVG/Prakt/praktichna_robota-4.pdf (accessed: 25.11.2021).

36. Паздрій І.Р. Опорний конспект лекцій з дисципліни “Техніко-економічне обґрунтування розробки комп’ютерних систем.” Тернопіль, 2013.

37. Кавецький В.В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень : Практикум. В.В.Кавецький, В.О.Козловський, І.В.Причепа. – ВНТУ. 2013. 110 р.

38. Тема: «Розрахунок техніко-економічних показників програмного продукту» [Electronic resource]. URL: <https://studfile.net/preview/5466695/> (accessed: 29.11.2021).

39. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України :: З 1 жовтня ціна на електроенергію для населення буде знижена [Electronic resource]. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245583544&cat_id=35109 (accessed: 29.11.2021).

					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

40. Энергомонитор с WiFi smart-МАС D103-21, трехфазный, стандартная версия, защелки 100А. Цена, купить Энергомонитор с WiFi smart-МАС D103-21, трехфазный, стандартная версия, защелки 100А в Киеве, Харькове, Днепре, Одессе, Запорожье, Львове. Энергомонитор с WiFi smart-МАС D103-21, трехфазный, стандартная версия, защелки 100А: обзор, описание, продажа [Electronic resource]. URL: https://bt.rozetka.com.ua/276764348/p276764348/?gclid=Cj0KCQiAkZKNBhDiARIsAPsk0WhNzJnhtO9L0EvFb-KJZBfqwjpb5dTkqKE1N20ElhRlNEztX4fTJC4aAtwtEALw_wcB (accessed: 29.11.2021).

41. Трифазний аналізатор якості електроенергії LUTRON DW-6092 Контрольно-вимірювальна техніка SIMVOLT 1580 [Electronic resource]. URL: <https://simvolt.ua/trifazniy-analizator-yakosti-elektroenergii-lutron-dw-6092/> (accessed: 29.11.2021).

42. Аналіз якості електроенергії [Electronic resource] // SATEC Україна. URL: <https://www.satec-global.com.ua/uk/analiz-yakosti-elektroenergi/> (accessed: 29.11.2021).

43. Аналізатор якості електроенергії HIOKI 3196 - Masteram [Electronic resource] // masteramua. URL: <https://masteram.com.ua/uk/power-quality-analyzer-hioki-3196/> (accessed: 29.11.2021).

44. Графічний аналізатор якості електроенергії AFLEX 6300 [Electronic resource] // prom.ua. URL: <https://prom.ua/ua/p1386180180-graficheskij-analizator-kachestva.html> (accessed: 29.11.2021).

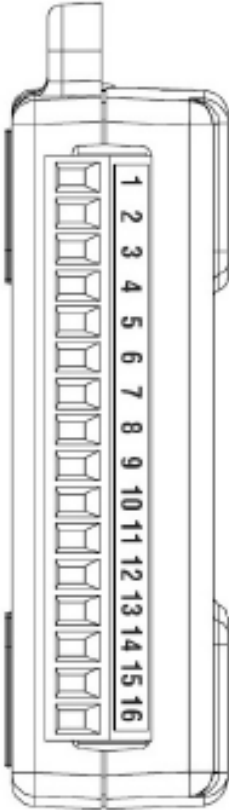
					<i>MP 3.8.14.1.428 ПЗ</i>	Арк.
						91
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Позначення терміналів входу/виходу аналогових та цифрових сигналів

Таблиця А.1 – Позначення терміналів вхід/вихід аналогових сигналів

Модуль	Термінал	Схема із загальним проводом	Диференційна схема
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AI 4	AI 4+
	15	AI 8	AI 4-
	16	GND	GND

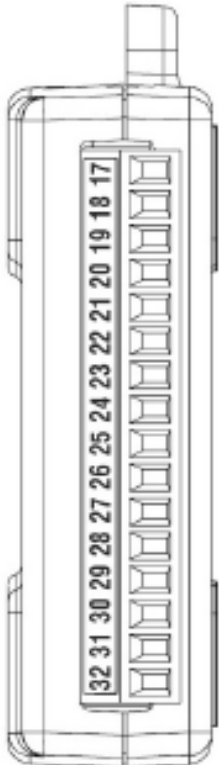
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 3.8.14.1.428 ПЗ

Арк.

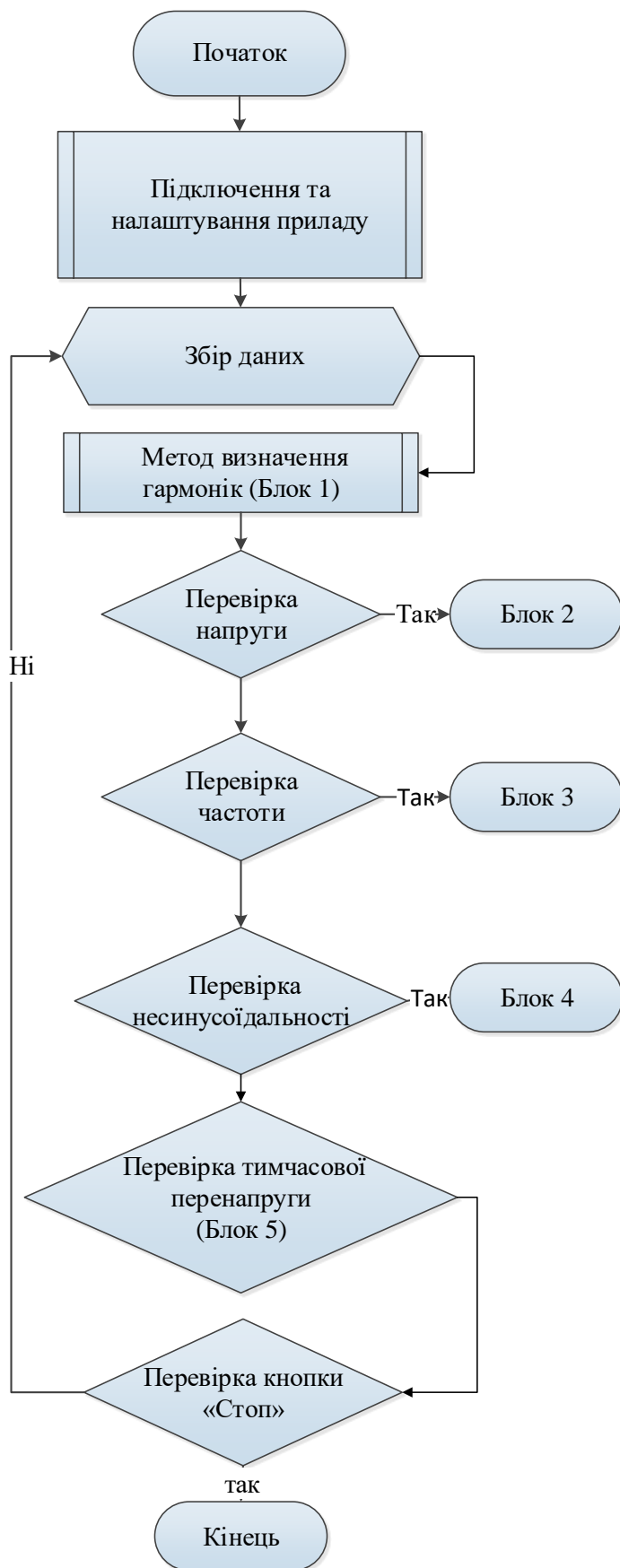
92

Таблиця А.2 – Позначення терміналів вхід/вихід цифрових сигналів

Модуль	Термінал	Сигнал
	17	PO.0
	18	PO.1
	19	PO.2
	20	PO.3
	21	PO.4
	22	PO.5
	23	PO.6
	24	PO.7
	25	PI.0
	26	PI.1
	27	PI.2
	28	PI.3
	29	PFI 0
	30	+2.5 V
	31	+5 V
32	GND	

ДОДАТОК Б

Блок схема програми «PQI»



Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 3.8.14.1.428 ПЗ

Арк.

94

ДОДАТОК В

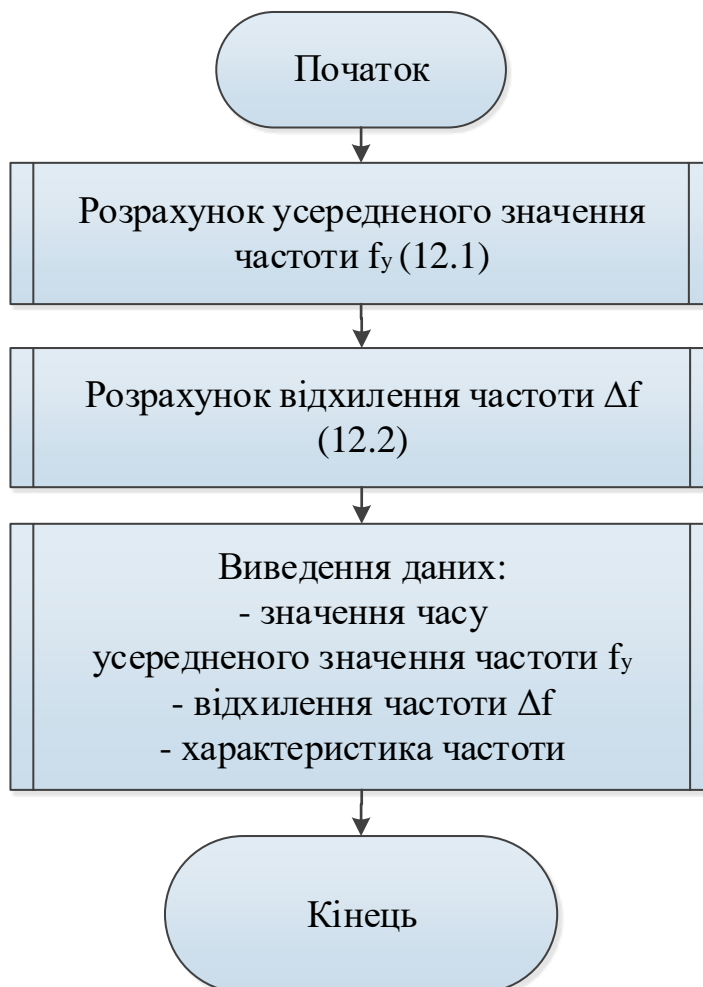
Блок схема алгоритму «Метод визначення гармонік»



Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДОДАТОК Г

Блок схема алгоритму «Розрахунок відхилення частоти»



Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

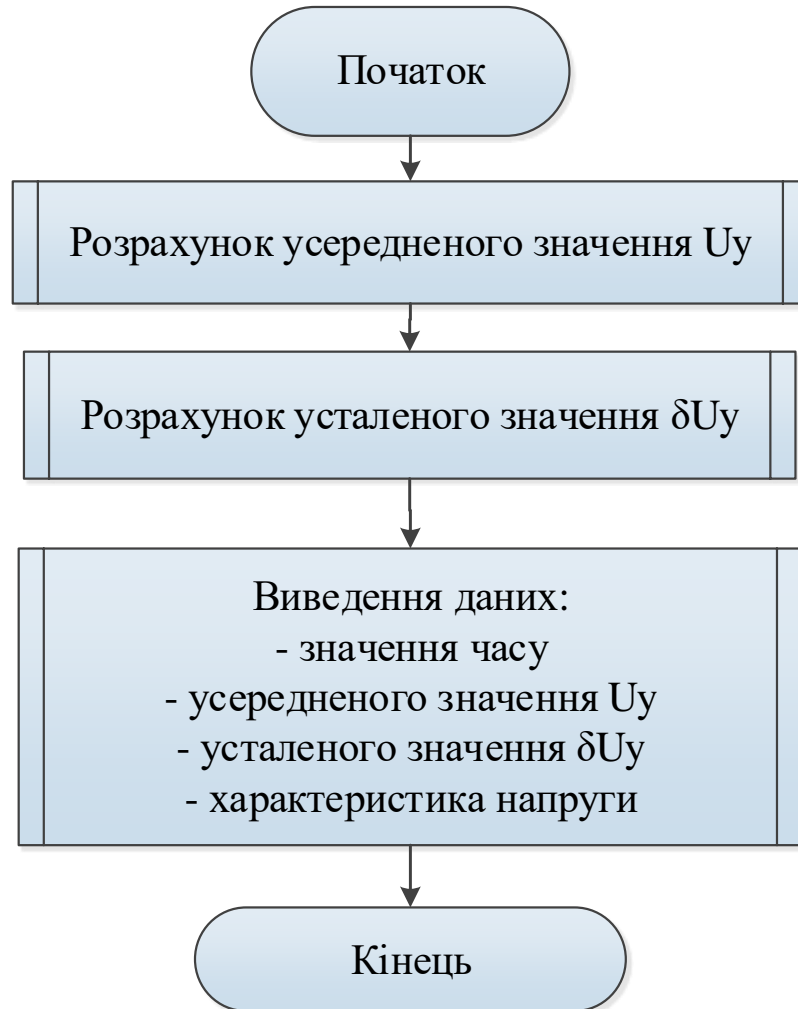
MP 3.8.14.1.428 ПЗ

Арк.

96

ДОДАТОК Д

Блок схема алгоритму «Розрахунок відхилення напруги»



Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

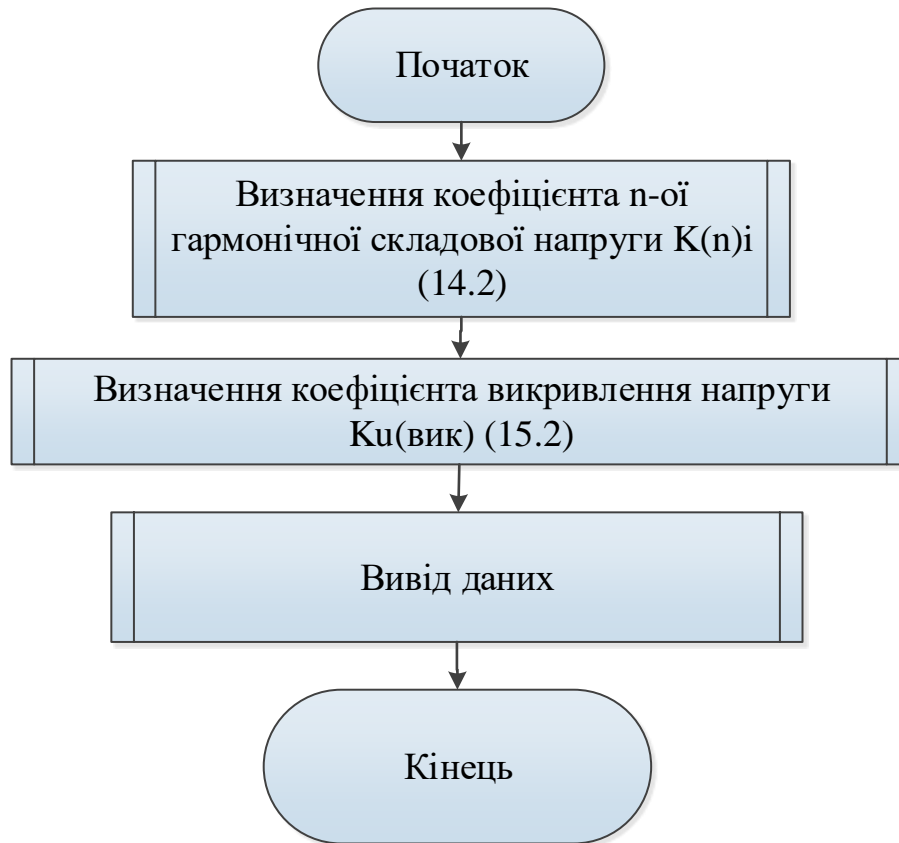
MP 3.8.14.1.428 ПЗ

Арк.

97

ДОДАТОК Е

Блок схема алгоритму «Розрахунок коефіцієнта несинусоїдальності»



Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

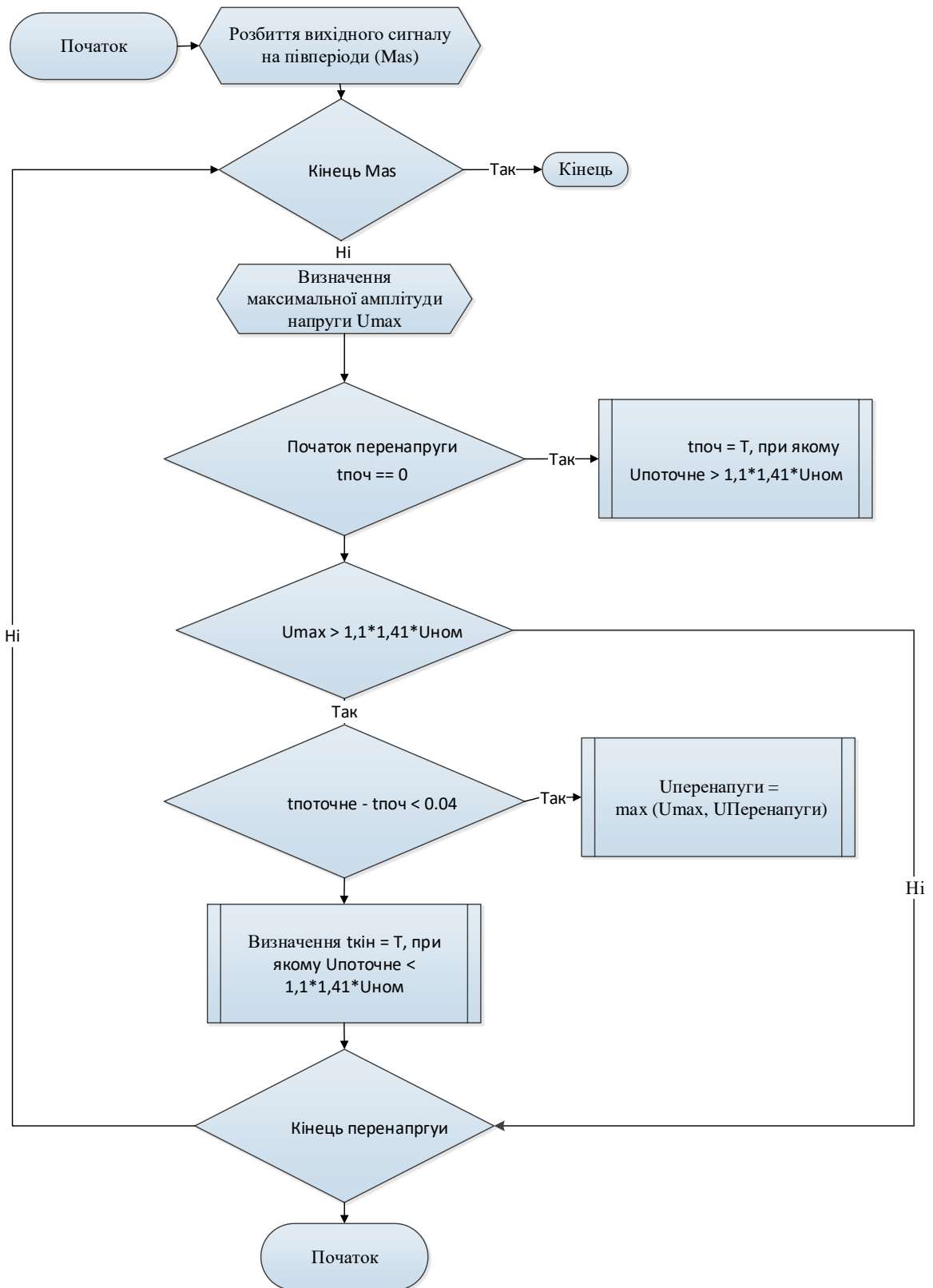
MP 3.8.14.1.428 ПЗ

Арк.

98

ДОДАТОК Є

Блок схема алгоритму «Тимчасова перенапруга»



Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДОДАТОК Ж

Інтервали усереднення результатів вимірювань показників якості електроенергії

Таблиця Ж.1 – Інтервали усереднення результатів вимірювань показників якості електроенергії

Показник якості електроенергії	Інтервал усереднення, с
Установлене відхилення напруги	60
Відхилення частоти	20
Коефіцієнт викривлення синусоїдальної кривої напруги	3
Коефіцієнт n-ої гармонічної складової напруги	3

					MP 3.8.14.1.428 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100