

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

на тему:

«Розробка вимірювальної системи та програмного комплексу для збору та  
аналізу параметрів якості електроенергії»

спеціальність: 141– Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконав

студент гр. ЕТ-61 \_\_\_\_\_ М.С. Ніконов

Керівник

к.ф.-м.н, доцент \_\_\_\_\_ М.В. Петровський

## РЕФЕРАТ

с. 81, рис. 23, табл. 8.

**Бібліографічний опис:** Ніконов М.С. Розробка вимірювальної системи та програмного комплексу для збору та аналізу параметрів якості електроенергії [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавр; спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / М.С. Ніконов; керівник М.В. Петровський. – Суми: СумДУ, 2020. – 81 с.

### Ключові слова:

Відхилення напруги, відхилення частоти, коефіцієнт  $n$ -ої гармонічної складової напруги, коефіцієнт викривлення напруги, швидке перетворення Фур'є, дискретне перетворення Фур'є, метод Квіна, амплітудно-частотний спектр

Отклонение напряжения, отклонение частоты, коэффициент  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения, коэффициент искажения напряжения, быстрое преобразование Фурье, дискретное преобразование Фурье, метод Квина, амплитудно-частотный спектр

Voltage deviation, frequency deviation, coefficient of the  $n$ -th harmonic component of voltage, voltage distortion coefficient, fast Fourier transform, discrete Fourier transform, Quinn method, amplitude-frequency spectrum

**Об'єкт дослідження:** напруги споживачів електричної мережі та основні показники якості електричної енергії.

**Короткий огляд:** У даній роботі розроблено вимірювальну систему для збору даних. Для наступного розрахунку та аналізу основних показників якості електричної енергії, нормально та гранично допустимі значення яких нормуються у відповідності з ДСТУ EN 50160, розроблено програмний комплекс «Аналізатор якості електроенергії» в середовищі App Designer програмного пакету MatLAB. Використано метод швидкого перетворення Фур'є для пошуку частоти та напруги гармонік вихідного сигналу. Для збільшення точності визначення частоти та напруги гармонік сигналу, використано метод другий метод Квіна.

					БР 3.6.14.1.351 ПЗ	Арк.
						3
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1 ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА МЕТОДИ ЇХ ЗНАХОДЖЕННЯ .....	9
1.1 Відхилення напруги .....	9
1.2 Несинусоїдальність напруги .....	12
1.3 Відхилення частоти.....	18
2 ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є .....	20
2.1 Дискретне перетворення Фур'є(ДПФ).....	21
2.2 Швидке перетворення Фур'є (ШПФ).....	24
2.2.1 Алгоритм для ряду із 4 елементів .....	25
2.3 Алгоритм збільшення точності визначення частоти гармонік напруги сигналу.....	31
2.3.1 Другий метод Квіна .....	32
3 СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ ДЛЯ ЗБОРУ ТА АНАЛІЗУ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ .....	35
3.1 Система пониження напруги .....	37
3.2 Плата збору даних .....	39
3.2.1 Блок аналогового входу.....	40
3.2.2 Схеми підключення аналогових сигналів .....	41
3.2.2.1 Підключення сигналів в диференційній схемі .....	41
3.2.2.2 Підключення сигналів в схемі із загальним нульовим проводом.....	43

					<i>БР 3.6.14.1.351 ЕТ-61 ПЗ</i>					
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				<i>Лист.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Ніконов М.С.</i>			<i>«Розробка вимірювальної системи та програмного комплексу для збору та аналізу параметрів якості електроенергії»</i>				4	81
<i>Перевір.</i>		<i>Петровський М.В.</i>								
<i>Реценз.</i>										
<i>Н. Контр.</i>										
<i>Затверд.</i>		<i>Лебединський І.Л.</i>								
								<i>СумДУ ЕТ-61</i>		



ДОДАТОК Е Блок схема функції «Розрахунок коефіцієнта несинусоїдальності»..... 80

ДОДАТОК Є Інтервали усереднення результатів вимірювань показників якості електроенергії..... 81

					БР 3.6.141.351 ПЗ	Арк.
						6
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 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 їх використовують у розважальних заходах.

Електрична енергія, яку поставляють користувачам, має характеристики, які впливають на можливість використання її споживачами і які є непостійні. Для її використання бажано, щоб напруга електропостачання мала незміну частоту, неспотворену синусоїдальну форму кривої та постійну амплітуду. В реальних умовах експлуатації електричних мереж виникають режими, що характеризуються відхиленням своїх параметрів від номінальних значень. Існує багато чинників, що спричиняють відхилення від номінальних параметрів. Допустимі та граничні значення відхилення цих параметрів нормується у відповідності з 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 «Аналізатор якості електроенергії» 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 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

					БР 3.6.141.351 ПЗ	Арк.
						7
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

складової напруги й коефіцієнта викривлення синусоїдальної кривої напруги потрібно додаткові алгоритми. Таким алгоритмом є дискретне перетворення Фур'є (ДПФ). Це саме той алгоритм який доцільно використовувати коли проводимо аналіз сигналу за допомогою цифрової техніки. Але алгоритм ДПФ не використовується для розрахунку коефіцієнтів Фур'є в сучасних технологіях. Причиною є значна витрата часу на визначення коефіцієнтів Фур'є, що є не практично.

У зв'язку з цим, кращим є використання алгоритму швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Цей алгоритм використовує властивості періодичності тригонометричної функції для того, щоб уникнути непотрібних розрахунків як ДПФ. Результат ШПФ та ДПФ є фактично тотожним один одному, але кількість операцій у ШПФ менша, а отже можна сказати, що точність розрахунку ШПФ більша.

В самих методах ДПФ та ШПФ є один недолік – велика похибка у визначенні оцінки частоти. Дане відхилення пов'язано з кратністю часу між вимірами сигналу та його періоду. У випадку, коли період аналогового сигналу не кратний відстані між вимірами дискретизованого сигналу, то метод ШПФ дає не точні результати для вищих гармонік. Іншими словами, ШПФ не може точно визначити частоту коли його максимум не співпадає з максимумом спектра напруги. Тому, в роботі було додатково враховані дані обмеження в процедурі визначення основних показників якості електроенергії.

					<i>БР 3.6.141.351 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

# 1 ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА МЕТОДИ ЇХ ЗНАХОДЖЕННЯ

Установлено два види норм якості електроенергії: нормально допустиме та гранично допустиме. Оцінка відповідності електроенергії показникам якості електроенергії проводиться протягом 24 години на добу і у відповідності нормам які нормуються з ДСТУ EN 50160:2014.

## 1.1 Відхилення напруги

Відхилення напруги характеризується показниками усталеного відхилення напруги, для якого установлені такі норми:

- нормально допустимі і гранично допустимі значення відхилення напруги на  $\delta U_y$  виводів споживачів 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  $\delta U_y$  проводять наступним чином:

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 (1.1)

									Арк.
									9
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					



$$U_{1(1)i} = \sqrt{\frac{1}{12} \left[ a^2 + \left( \frac{U_{BC(1)i}^2 - U_{CA(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} \right)^2 \right]} \quad (1.1)$$

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

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

При цьому, відповідно до [1, с. 13], допускається:

- 1) визначати  $U_{(1)i}$  методом симетричних складових;
- 2) визначати  $U_{(1)i}$  за наближеною формулою (1.2)

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

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

3) вимірювати замість діючого значення фазних та міжфазних напруг 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 напруг  $U_{(1)i}$  та  $U_{1(1)i}$  за інтервал часу 1 хвилина за формулою (1.3):

										Арк.
										10
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 3.6.14.1.351 ПЗ					

$$U_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N U_i^2}{N}} \quad (1.3)$$

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.

- Усталене значення відхилення напруги  $\delta U_y$  у відсотках за формулою (1.4):

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

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

3. Якість електричної енергії по усталеному відхиленні напруги в точці загального приєднання до електричної мережі вважають відповідною стандарту, якщо всі виміри за кожен хвилину протягом усталеного періоду часу 24 год значення усталеного відхилення напруги знаходиться в інтервалі, обмеженому часовими значеннями усталеного відхилення напруги знаходиться в інтервалі, обмеженому нормально допустимими значеннями.

Додатково допускається визначати відповідно нормам стандарту по сумарному тривалості часу виміряних значень даного показника за нормально і гранично допустимі границі.

При цьому якість електричної енергії по усталеному відхиленні напруги вважають відповідними вимогам теперішнього стандарту, якщо сумарна тривалість часу виходу за нормально допустимі значення складає не більше 5% від усталеного періоду часу, тобто 1 год 12 хв, а за гранично допустимі значення – 0% від цього періоду часу.

										Арк.
										11
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 3.6.141.351 ПЗ					

## 1.2 Несинусоїдальність напруги

Вимір коефіцієнта  $n$ -ої гармонічної складової напруги  $K_{(n)i}$  проводять для між фазної (фазної) напруги. Для кожного  $i$ -го виміру за період часу, рівний 24 год, визначають діюче значення напруги  $n$ -ої гармонічної складової напруги  $K_{(n)i}$  у відсотках як результат  $i$ -го виміру за формулою (1.5):

$$K_{U(n)i} = \frac{U_{(n)i}}{U_{1(i)}} \cdot 100 \quad (1.5)$$

де  $U_{1(i)}$  – діюче значення напруги основної напруги на  $i$ -ому спостереженню в вольтах, кіловольтах.

При цьому, допускається вимірювати даний показник за наступною формулою (1.6):

$$K_{U(n)i} = \frac{U_{(n)i}}{U_{ном}} \cdot 100 \quad (1.6)$$

Примітка. Відносна похибка розрахунку  $K_{U(n)i}$  із використанням формули (1.5) замість (1.6) повинно бути рівною значенню відхилення напруги  $U_{(1)i}$  від  $U_{ном}$ .

Значення коефіцієнта  $n$ -ої гармонічної складової напруги  $K_{(n)i}$  визначають у відсотках як результат усереднення  $N$  спостережень за інтервал часу  $T$  рівний 3 с, за наступною формулою (1.7):

									Арк.
									12
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 3.6.141.351 ПЗ				

$$K_{U(n)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (K_{U(n)i})^2}{N}} \quad (1.7)$$

При цьому, кількість спостережень  $N$  на даному інтервалі повинно бути не менше 9.

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 гармонійної складової напруги не перевищує гранично допустимого значення, а значення коефіцієнта  $n$ -ої гармонійної складової напруги, відповідне 95% за встановлений період часу, не перевищує нормально допустимого значення.

Додатково допускається визначати відповідність нормам стандарту за сумарною тривалості часу виходу виміряних значень даного показника за нормально і гранично допустимі значення. При цьому якість електричної енергії за коефіцієнтом  $n$ -ої гармонійної 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.

В табл. 1.1 – 1.3 наведені нормально допустимі дані для кожної гармоніки. Гранично допустимі значення  $n$ -ої гармонійної складової напруги відповідає значенню  $1,5 \cdot K_{U(n)}$ .

					<i>БР 3.6.141.351 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

Таблиця 1.1 – Значення коефіцієнта n-ої гармонічної складової напруги, у відсотках непарних гармонік, які не кратні 3

Непарні гармоніки, не кратні 3, при $U_{ном}$ кВ				
$n^*$	0,38	6-20	35	110-330
5	6,0	4,0	3,0	1,5
7	5,0	3,0	2,5	1,0
11	3,5	2,0	2,0	1,0
13	3,0	2,0	1,5	0,7
17	2,0	1,5	1,0	0,5
19	1,5	1,0	1,0	0,4
23	1,5	1,0	1,0	0,4
25	1,5	1,0	1,0	0,4
>25	$0,2+1,3*25/n$	$0,2+0,8*25/n$	$0,2+0,6*25/n$	$0,2+0,2*25/n$

Таблиця 1.2 – Значення коефіцієнта n-ої гармонічної складової напруги, у відсотках непарних гармонік, які кратні 3

Непарні гармоніки, кратні 3, при $U_{ном}$ кВ				
$n^*$	0,38	6-20	35	110-330
3	5,0	3,0	3,0	1,5
9	1,5	1,0	1,0	0,4
15	0,3	0,3	0,3	0,2
21	0,2	0,2	0,2	0,2
24	0,2	0,2	0,2	0,2
27	0,2	0,2	0,2	0,2
>27	0,2	0,2	0,2	0,2

Таблиця 1.3 – Значення коефіцієнта n-ої гармонічної складової напруги, у відсотках парних гармонік

Парні гармоніки, при $U_{ном}$ кВ				
$n^*$	0,38	6-20	35	110-330
2	2,0	1,5	1,0	0,5
4	1,0	0,7	0,5	0,3
6	0,5	0,3	0,3	0,2
8	0,5	0,3	0,3	0,2
10	0,5	0,3	0,3	0,
12	0,2	0,2	0,2	0,2
14	0,2	0,2	0,2	0,2
16	0,2	0,2	0,2	0,2
18	0,2	0,2	0,2	0,2
20	0,2	0,2	0,2	0,2
>20	0,2	0,2	0,2	0,2

Визначення коефіцієнта викривлення синусоїдальної кривої напруги  $K_U$  проводять наступним чином.

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 вольтгах та кіловольтах.

2. Значення викривлення синусоїдальної кривої напруги  $K_U$  для  $i$ -го спостереження знаходять за наступною формулою (1.8):

$$K_{U_i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^{40} (U_{(n)i})^2}{U_{(1)i}}} \cdot 100 \quad (1.8)$$

де  $U_{(1)i}$  - діюче значення між фазної (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 (1.9):

$$K_{U_i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^{40} (U_{(n)i})^2}{U_{ном}}} \cdot 100 \quad 1.9$$

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 (1.10):

$$K_U = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (K_{U_i})^2}{N}} \quad (1.10)$$

При цьому, кількість спостережень  $N$  на даному інтервалі повинно бути не менше 9.

5. Якість електричної енергії по коефіцієнту спотворення синусоїдальної кривої напруги в точці загального приєднання вважають відповідним вимогам,

					БР 3.6.14.1.351 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

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.

Додатково допускається визначати відповідність нормам цього стандарту за сумарною тривалості часу виходу вимірних значень даного показника за нормально і гранично допустимі значення. При цьому, коефіцієнту спотворення синусоїдальної кривої напруги вважають відповідним вимогам цього 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 цього періоду часу.

В табл. 1.4 наведені нормально та гранично допустимі значення коефіцієнта викривлення синусоїдальної кривої напруги.

Таблиця 1.4 – 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



### 1.3 Відхилення частоти

Вимір та розрахунок відхилення частоти  $\Delta f$  проводять наступним чином.

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 (1.11):

$$f_y = \frac{\sum_{i=1}^N f_i}{N} \quad (1.11)$$

Кількість спостережень  $N$  повинно бути не менше 15.

3. Значення відхилення частоти  $\Delta f$  в герцах визначають за наступною формулою (1.12):

$$\Delta f = f_y - f_{ном} \quad (1.12)$$

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

4. У даному випадку, якість електричної енергії за відхиленням частоти вважають відповідним вимогам стандарту, якщо всі виміряні протягом 24 год значення відхилень частоти знаходяться в інтервалі гранично допустимими значеннями. Крім того, ці значення повинні бути не менше 95% всіх вимірних значень відхилення частоти, та знаходитися в інтервалі, обмеженому нормально допустимими значеннями. Додатково допускається визначати відповідність нормам стандарту за сумарною тривалості часу виходу

									Арк.
									18
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

виміряних значень даного показника за нормально і гранично допустимі значення.

При цьому якість електричної енергії за відхиленням частоти вважають задовільними 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%.

					БР 3.6.141.351 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

## 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 би не можна було розкласти в тригонометричний ряд. Тобто, періодичний сигнал будь-якої форми можна розкласти на синусоїди різних частот, або ж відповідного складення тих самих синусоїд із різними частотами можна отримати сигнал, якої завгодно форми.

Існує два основних типи ДПФ: дійсний ДПФ і комплексний ДПФ. Рівняння, представлені у формулі (2.9), описують комплексне ДПФ, де вихідні та кінцеві значення є комплексними числами. Так як вихідні відліки у тимчасовій області є дійсними і не мають уявної частини. Уявна частина вихідних відліків завжди приймається рівною нулю. Результат ДПФ містить дійсні і уявні компоненти, які можуть бути перетворені в амплітуду і фазу вихідного сигналу.

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  $f_s$ .

									Арк.
									20
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 3.6.141.351 ПЗ				

## 2.1 Дискретне перетворення Фур'є(ДПФ).

На сьогоднішній час, швидкодія комп'ютерів досягла вражаючих показників і тому, методи та способи розрахунку сигналів із використанням цифрової техніки стали загальнодоступними та загальноприйнятими. Оцифрований сигнал у вигляді числової послідовності вводять у комп'ютер і, провівши деякі обчислення, отримують потрібні дані. У нашому випадку коефіцієнти Фур'є. Обробка цифрових сигналів із використанням комп'ютерів, в порівнянні із методами знаходження спектра за допомогою електронних приладів, поступаються у швидкості, але виграють в точності розрахунку.

Узагальнюючи сказане, якщо в комп'ютер ввести сигнал, поданий у вигляді цифрових даних, то в залежності від програми, написаної програмістом, можна провести згладжування сигналу, отримати частотний спектр чи кореляцію сигналу. Крім того, в останній час існує багато різновидів блок-схем, які реалізують алгоритми обробки сигналів. В даному під розділі розглянемо застосування математичного аналізу перетворення Фур'є до цифрового сигналу.

Будемо вважати, що ряд з  $N$  числових значень сигналу, вибраних на інтервалі як показано на рис. 2.1 має вид

$$\{y_0, y_1, y_2, \dots, y_{n-1}\} \quad (2.1)$$

									Арк.
									21
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 3.6.141.351 ПЗ				

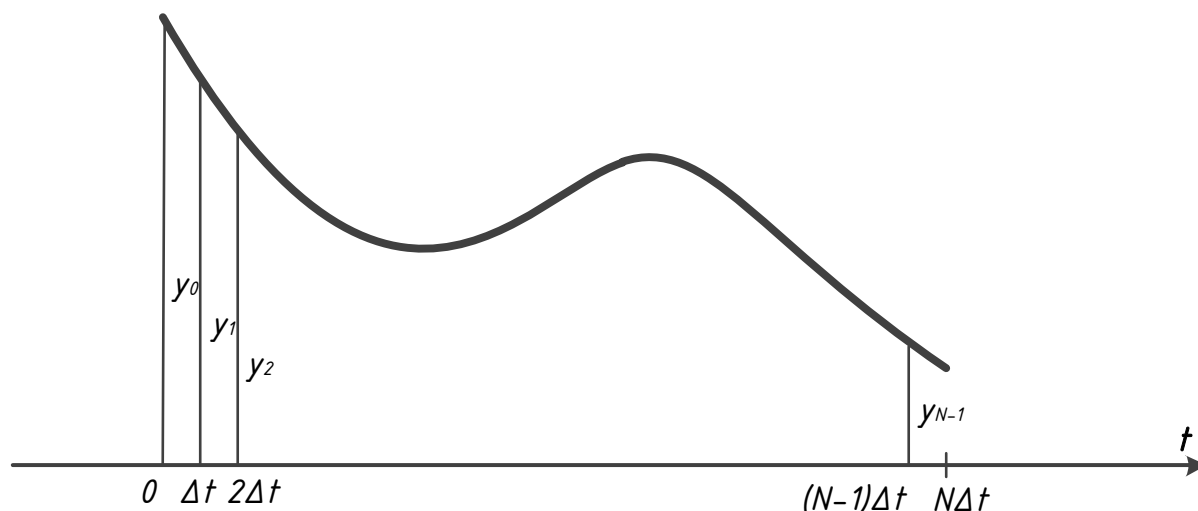


Рисунок 2.1 – Вид N значень сигналу

Тепер, позначимо інтервал дискретизації вибірки сигналу як  $\Delta t$ . 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  $2\pi$  можна отримати скалярним множенням двох векторів  $y(t)$  та  $e^{jkt}$

$$C_k = \langle y(t), e^{jkt} \rangle \quad (2.2)$$

В даному випадку, основна задача тепер у визначенні коефіцієнтів Фур'є даного  $N$ -мірного вектора, представлений рядом з  $N$  значень сигналу

$$y = \{y_0, y_1, y_2, \dots, y_{n-1}\} \quad (2.3)$$

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  $e^{jkt}$

										Арк.
										22
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 3.6.141.351 ПЗ					

позначити як  $e_k$ , компоненти якого являються комплексні числа, то коефіцієнти Фур'є для  $y$  вектора можна визначити наступною формулою (2.4)

$$C_k = \langle y, e_k \rangle \quad (2.4)$$

Тому, для визначення вектора  $e_k$ , запишемо вираз із визначення функцій комплексного числення

$$e^{jkt} = \cos(kt) + j \sin(kt) \quad (2.5)$$

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

$$e_k = (1, e^{jk\Delta\omega}, e^{j2k\Delta\omega}, \dots, e^{j(N-1)k\Delta\omega}) \quad (2.6)$$

Далі, вектор  $y$  можна розкласти по ортонормованому базису згідно формули (2.7)

$$y = \sum_{k=0}^{N-1} C_k e_k \quad (2.7)$$

Тепер, коефіцієнти  $C_k$  можна визначити через скалярний добуток двох векторів  $y$  та  $e_k$

$$C_k = \langle y, e_k \rangle \quad (2.8)$$

					БР 3.6.141.351 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Підставимо у даний вираз попередньо знайдені формули (2.8), (2.7), (2.6) та отримаємо вираз (2.9).

$$C_k = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} y_i e^{-j(2\pi/N)ki} \quad (k = 0, 1, 2, \dots, N-1) \quad (2.9)$$

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

## 2.2 Швидке перетворення Фур'є (ШПФ)

Дискретне перетворення Фур'є – це алгоритм який потрібно знати коли проводимо аналіз сигналу за допомогою цифрової техніки. Але алгоритм ДПФ не використовується для розрахунку коефіцієнтів Фур'є в сучасних технологіях. Причина являється одна – витрачається багато часу для на визначення коефіцієнтів, що є не практично.

Швидке перетворення Фур'є – це алгоритм, який використовує властивості періодичності тригонометричної функції для того, щоб уникнути непотрібних розрахунків в ДПФ. Результат ШПФ та ДПФ являється один і той самий, але кількість операцій менше, а отже можна сказати, що точність розрахунку ШПФ більша.

ШПФ – це алгоритм ефективного визначення коефіцієнтів Фур'є із використанням залежності, яка прихована всередині матриці, яка виражає ДПФ. Таким чином, якщо правильно переставити елементи матриці, то кількість операцій множення зменшиться. Як відомо, саме на операції множення та ділення затрачається багато часу, тому їх зменшення призведе до значного скорочення загального часу на визначення коефіцієнтів Фур'є.

											Арк.
											24
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 3.6.141.351 ПЗ						

### 2.2.1 Алгоритм для ряду із 4 елементів

Розглянемо випадок, коли сигнал представлений рядом всього із 4 елементів. Позначимо його як

$$\{f_0, f_1, f_2, f_3\} \quad (2.10)$$

Тоді, дискретне перетворення Фур'є даного сигналу можна виразити у вигляді добутку матриці на вектор сигналу

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w^0 & w^0 & w^0 & w^0 \\ w^0 & w^1 & w^2 & w^3 \\ w^0 & w^2 & w^4 & w^6 \\ w^0 & w^3 & w^6 & w^8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_0 \\ f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

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. 2.2.

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -j & -1 & j \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & j & -1 & -j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_0 \\ f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$



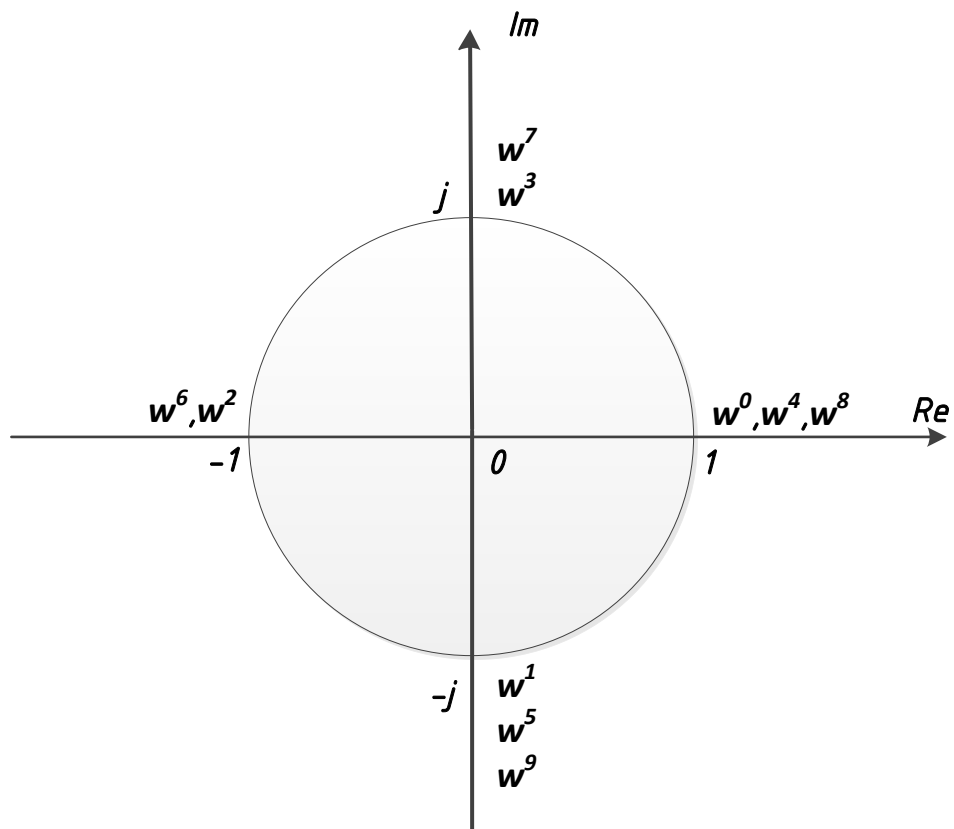


Рисунок 2.2 – Степеневий ряд  $w$  для  $N = 4$

Тепер, для спрощення розуміння перетворимо добуток матриці на вектор (2.13):

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w^0 & w^0 & w^0 & w^0 \\ w^0 & w^1 & w^2 & w^3 \\ w^0 & w^2 & w^4 & w^6 \\ w^0 & w^3 & w^6 & w^8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_0 & f_1 & f_2 & f_3 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

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 (2.14):

					БР 3.6.141.351 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_0 & f_2 \\ f_1 & f_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w^0 & w^0 \\ w^0 & w^2 \\ w^0 & w^4 \\ w^0 & w^6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w^0 & w^0 \\ w^1 & w^3 \\ w^2 & w^6 \\ w^3 & w^8 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Із даної матриці видно, що  $w^{k+1} = w^k w^1$ . Даний вираз можна представити наступним чином

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_0 & f_2 \\ f_1 & f_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w^0 & w^0 \\ w^0 & w^2 \\ w^0 & w^4 \\ w^0 & w^6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w^0 \\ w^1 \\ w^2 \\ w^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w^0 & w^0 \\ w^0 & w^2 \\ w^0 & w^4 \\ w^0 & w^6 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Відповідно до рис. 2.2 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 (2.16):

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \\ 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w^0 \\ -w^1 \\ w^0 \\ -w^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \\ 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

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. 2.3.

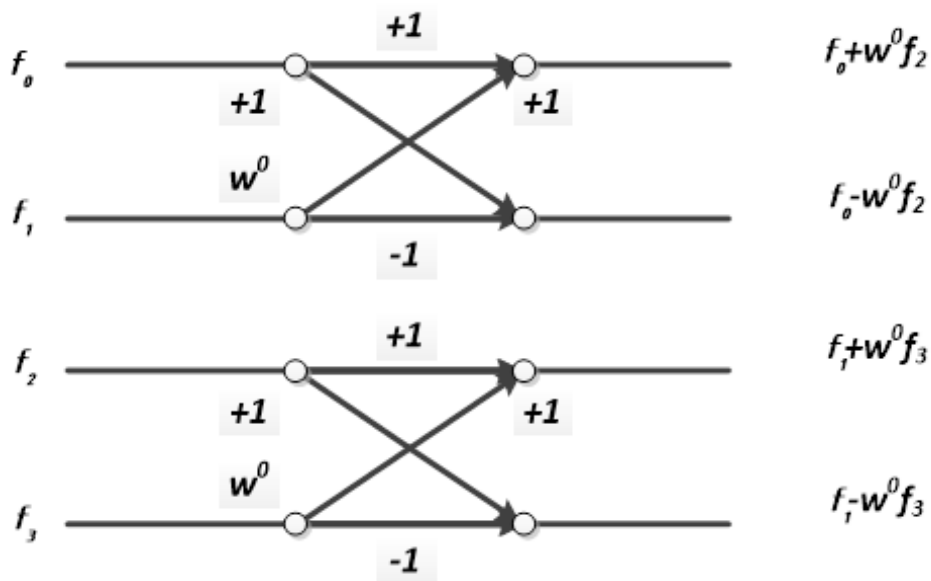


Рисунок 2.3 – Метод «метелика»

Кожний елемент якого множиться 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. 2.4 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.

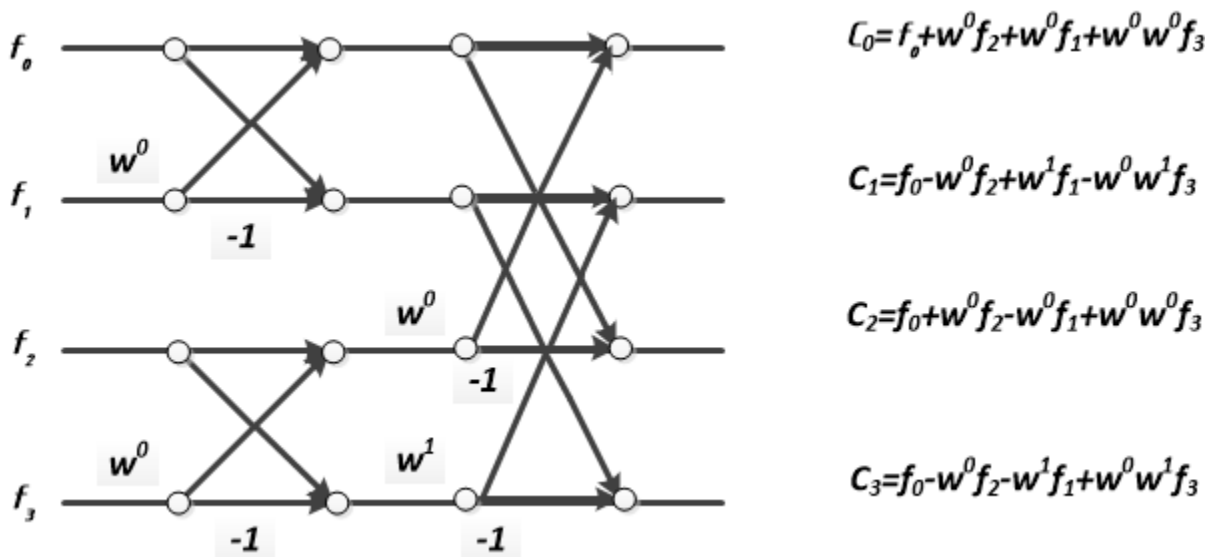


Рисунок 2.4 – ШПФ для ряду із 4 елементів

Таким самим чином проводиться розрахунок для ряду із 8 елементів як зображено на рис. 2.5. 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.

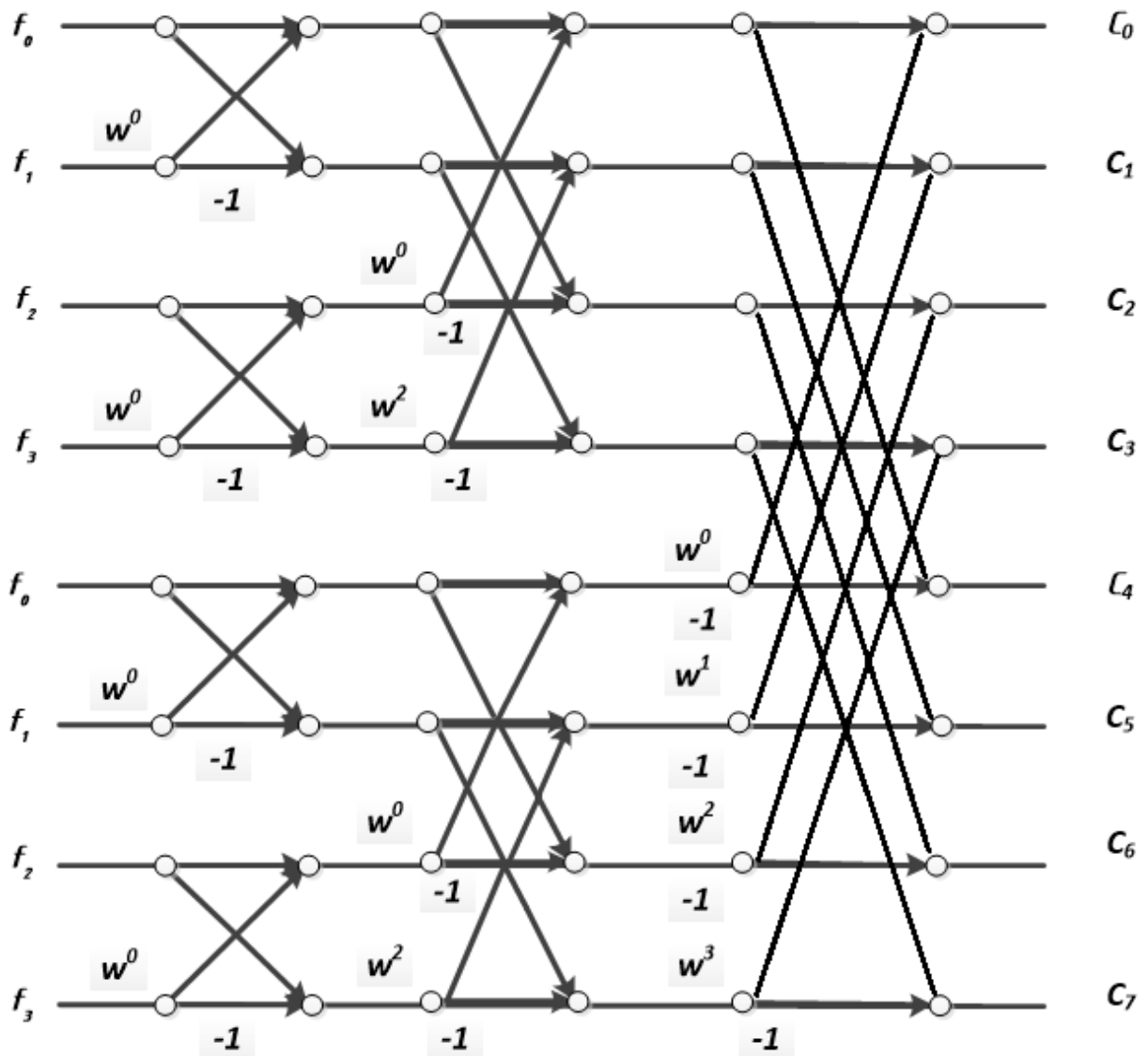


Рисунок 2.5 – ШПФ для ряду із 8 елементів

Із цього можна зробити висновок, якщо число даних  $N$  являється степенем 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 рівна 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.

### 2.3 Алгоритм збільшення точності визначення частоти гармонік напруги сигналу

Розглянутий у пункті 2.2 метод ШПФ має один недолік – велика похибка у визначенні оцінки частоти. Даний 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. Іншими словами, ШПФ не може точно визначити частоту коли його максимум не співпадає з максимумом спектра напруги, як показано на рис. 2.6.

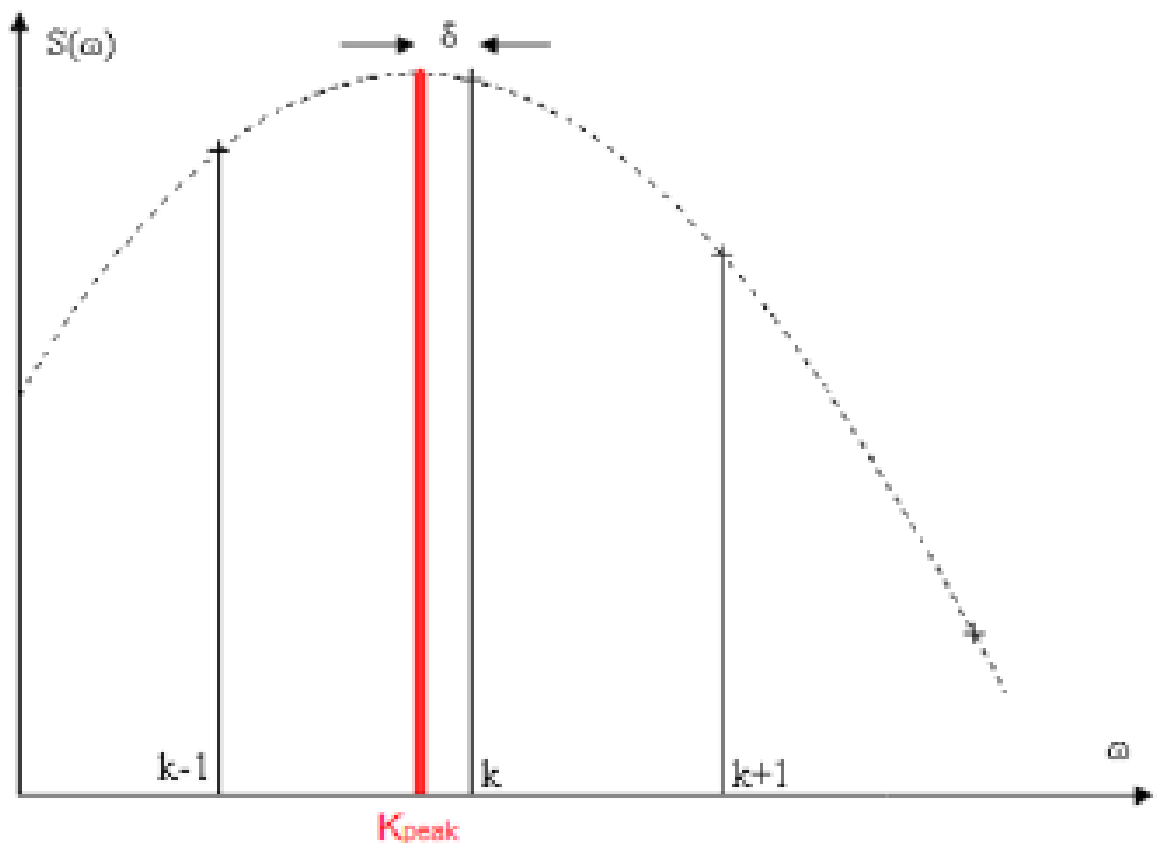


Рисунок 2.6 – Випадок неспівпадання максимум ШПФ та максимум спектра напруги

					БР 3.6.141.351 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

На рис. 2.6 номери вимірів максимум ШПФ та його двох сусідніх вершин позначені як  $k$ ,  $k+1$  та  $k-1$  відповідно. Порядковий номер максимуму гармоніки спектра напруги позначено як  $k_{peak}$ . Різниця між  $k_{peak}$  та  $k$  позначено як  $\delta$ .

Для зменшення  $\delta$  та збільшення точності у визначенні частоти доцільно використовувати додаткові методи котрі описані в [3], 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. Головна умова являється такою, що крива побудованої функції повинна точно пройти через побудовані точки та даних, які маємо.

У нашій роботі ми використовуємо другий метод Квіна.

### 2.3.1 Другий метод Квіна

Метод Квіна оснований на виборі максимуму спектра за трьома точками ШПФ.

Блок-схема визначення частоти за другим методом Квіна має такий вигляд.

					БР 3.6.141.351 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

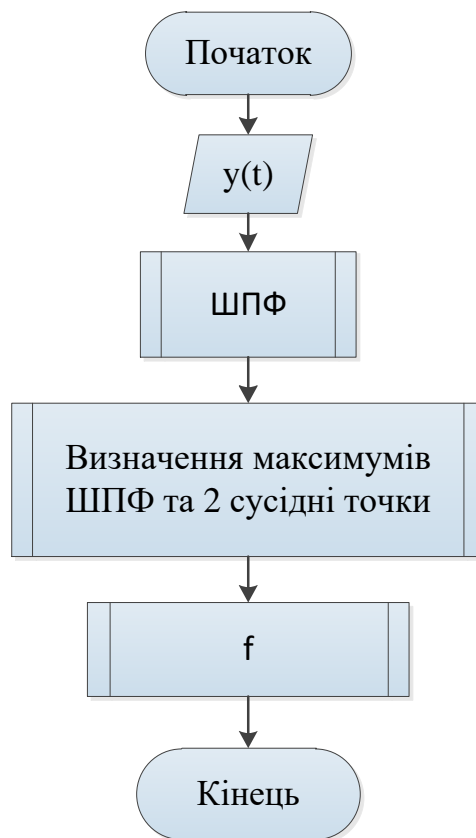


Рисунок 2.7 – Блок-схема другого метода Квіна

В даному методі параметр  $\delta$  визначається наступним виразом

$$\delta = \frac{\hat{a}_{-1} + \hat{a}_{+1}}{2} + g(\hat{a}_{+1}) - g(\hat{a}_{-1}), \quad (2.17)$$

де  $g(*)$  - визначається за формулою (2.18);

$\hat{a}_{-1}$  та  $\hat{a}_{+1}$  - визначаються за формулою (2.19);

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



$$g(*) = \frac{1}{4} \cdot \log(3 \cdot x^4 + 6 \cdot x^2 + 1) - \frac{\sqrt{6}}{24} \cdot \log \left( \frac{x^2 + 1 - \sqrt{\frac{2}{3}}}{x^2 + 1 + \sqrt{\frac{2}{3}}} \right). \quad 2.18$$

$$\hat{a}_{-1} = \frac{-\operatorname{Re} \left( \frac{u(k-1)}{u(k)} \right)}{\operatorname{Re} \left( \frac{u(k-1)}{u(k)} \right) - 1}, \quad \hat{a}_{+1} = \frac{-\operatorname{Re} \left( \frac{u(k+1)}{u(k)} \right)}{\operatorname{Re} \left( \frac{u(k+1)}{u(k)} \right) - 1}. \quad 2.19$$

Визначення  $f$  проводиться за формулою (2.21) після визначення порядкового номера реального максимуму частоти за формулою (2.20)

$$k_{peak} = k + \delta, \quad (2.20)$$

$$f = k_{peak} \cdot \frac{f_s}{N}, \quad (2.21)$$

де  $f_s$  - частота дискретизації;

$N$  - кількість точок ШПФ.

					БР 3.6.141.351 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

### 3 СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ ДЛЯ ЗБОРУ ТА АНАЛІЗУ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

В даній роботі для збору та аналізу основних параметрів електроенергії були розроблені та використані:

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

Структурна схема даного комплексу показана на рис. 3.1. 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. Це дає наочне уявлення про послідовність взаємодії функціональних частин виробу, яка простежується за допомогою стрілок, що наносяться на лініях взаємозв'язку.

«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. Крім того, в даному блоці відбувається даних: амплітуда напруги. Цей блок включає в себе ще два блоки:

- «Блок зняття перинної напруги» - блок 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 і продуктивності при зборі даних і розробці програм для їх управління.

										Арк.
										35
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

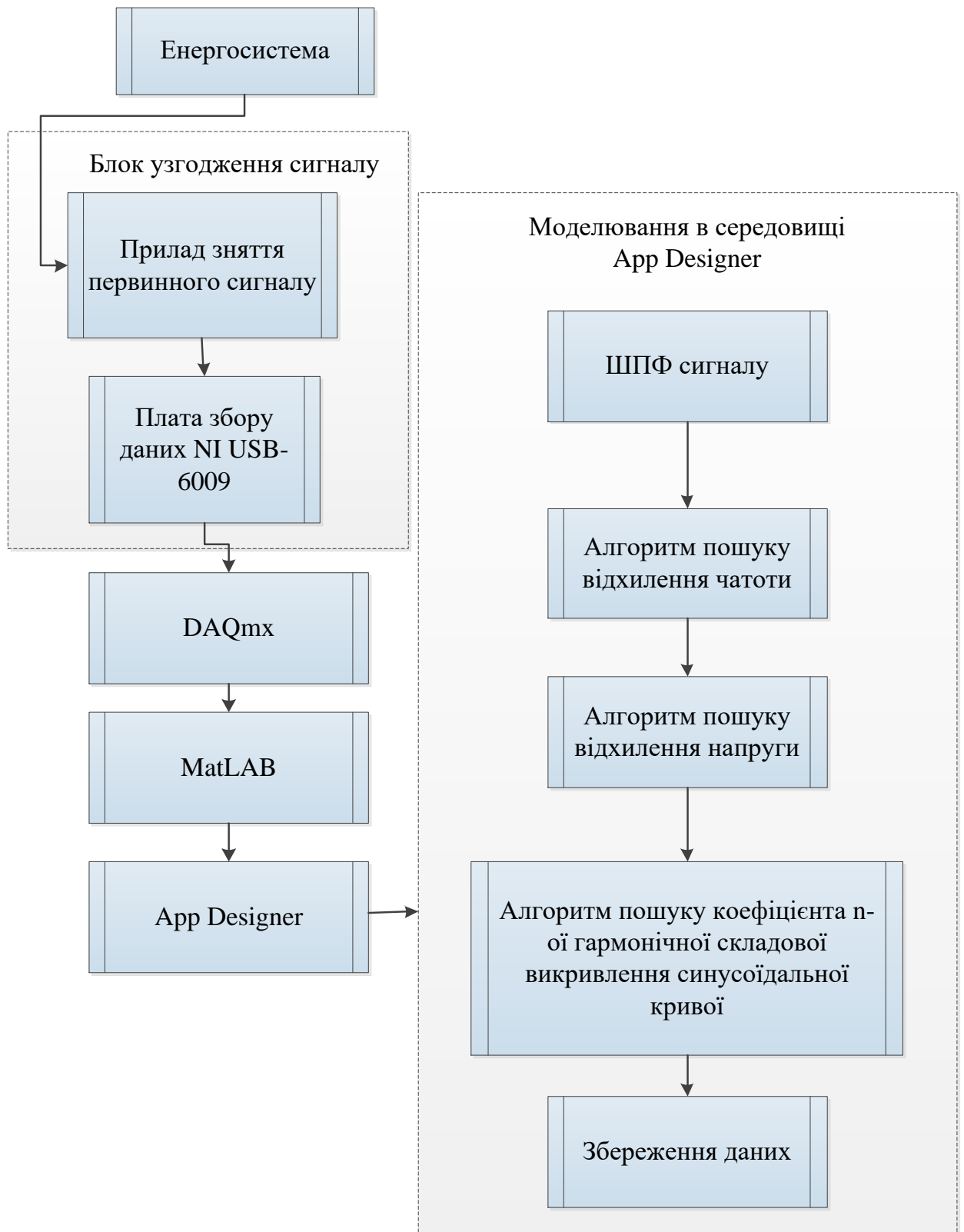


Рисунок 3.1 – Структурна схема комплексу

### 3.1 Система пониження напруги

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

Дільник напруги буває як лінійний так і нелінійний. Причому, перший може складатися з активного опору або реактивного. Реактивний опір буває ємнісний та індуктивний. В таких дільниках коефіцієнт передачі визначається співвідношенням із закону Ома. До нелінійних відносяться параметричні стабілізатори напруги.

Найбільшого поширення здобули резистивні дільники. Їх конструкція та розрахунок вирізняється своєю легкістю. У такого дільника так і в інших видів є напруги входу  $U_{вх}$  та виходу  $U_{вих}$ . Це відноситься до двох резисторів, якщо резистора три то вихідних напруг  $U_{вих}$  буде дві і так далі. Вхідна напруга  $U_{вх}$  дорівнює напрузі живлення, а вихідна напруга  $U_{вих}$  залежить від співвідношення опорів резисторів в кожному плечі дільника.

В даній роботі використовується дільник із двох резисторів котрий показано на рис. 3.2.

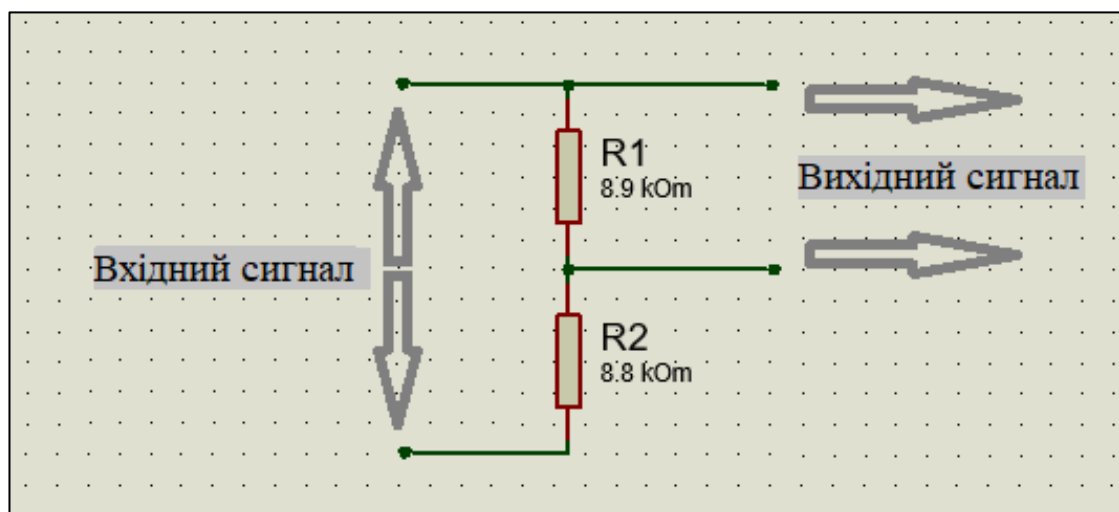


Рисунок 3.2 – Схема дільника напруги із двох резисторів.

									Арк.
									37
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

На даному рис. 3.2 зображено два резистори  $R_1$  та  $R_2$ . Резистор  $R_1$  називають резистор на якому гаситься напруга. Резистор  $R_2$  - вихідним плечем. Розрахунок такого діляника проводиться наступним чином.

1. Складається система рівнянь для напруг на кожному плечі

$$\begin{cases} U_1 = I \cdot R_1 \\ U_2 = I \cdot R_2 \end{cases}$$

2. Просумуємо дану систему

$$U_1 + U_2 = I \cdot (R_1 + R_2)$$

3. Звідси виражаємо струм

$$I = \frac{U_1 + U_2}{R_1 + R_2}$$

4. Підставимо дане значення в вираз із меншим плечем та виразимо звідти  $U_2$

$$U_2 = \frac{U_1 + U_2}{R_1 + R_2} \cdot R_2$$

$$U_1 = U - U_2$$

$$U_2 = \frac{UR_2}{R_1 + R_2}$$

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

					<i>БР 3.6.141.351 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

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

Напруга на резисторі вищого плеча складатиме 3,56 В.

### 3.2 Плата збору даних

Для збору та передачі даних на персональний комп'ютер використовується плата для збору даних NI USB – 6009. 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. 3.1. 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);

					<i>БР 3.6.141.351 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Таблиця 3.1 – 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

### 3.2.1 Блок аналогового входу

В даній роботі використовується тільки модуль аналогового входу, котрий зображено на рис. 3.3.

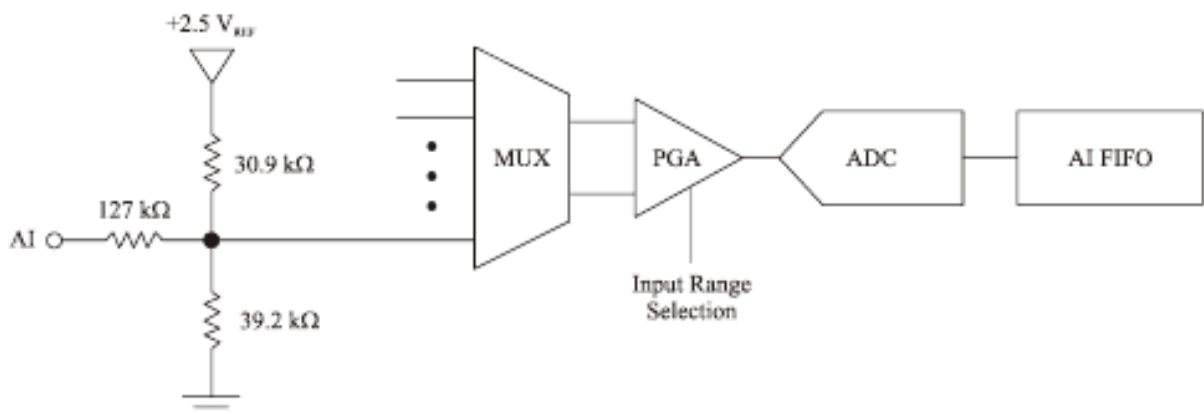


Рисунок 3.3 – принципова схема блока аналогового входу

Кожний елемент на рис. 3.3 має такі характеристики:

- 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

										Арк.
										40
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 3.6.141.351 ПЗ					

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.

### 3.2.2 Схеми підключення аналогових сигналів

Існує дві схеми підключення для виконання вимірювання сигналів:

- диференційна схема;
- схема із загальним проводом;

#### 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. 3.4.

					БР 3.6.141.351 ПЗ	Арк.
						41
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



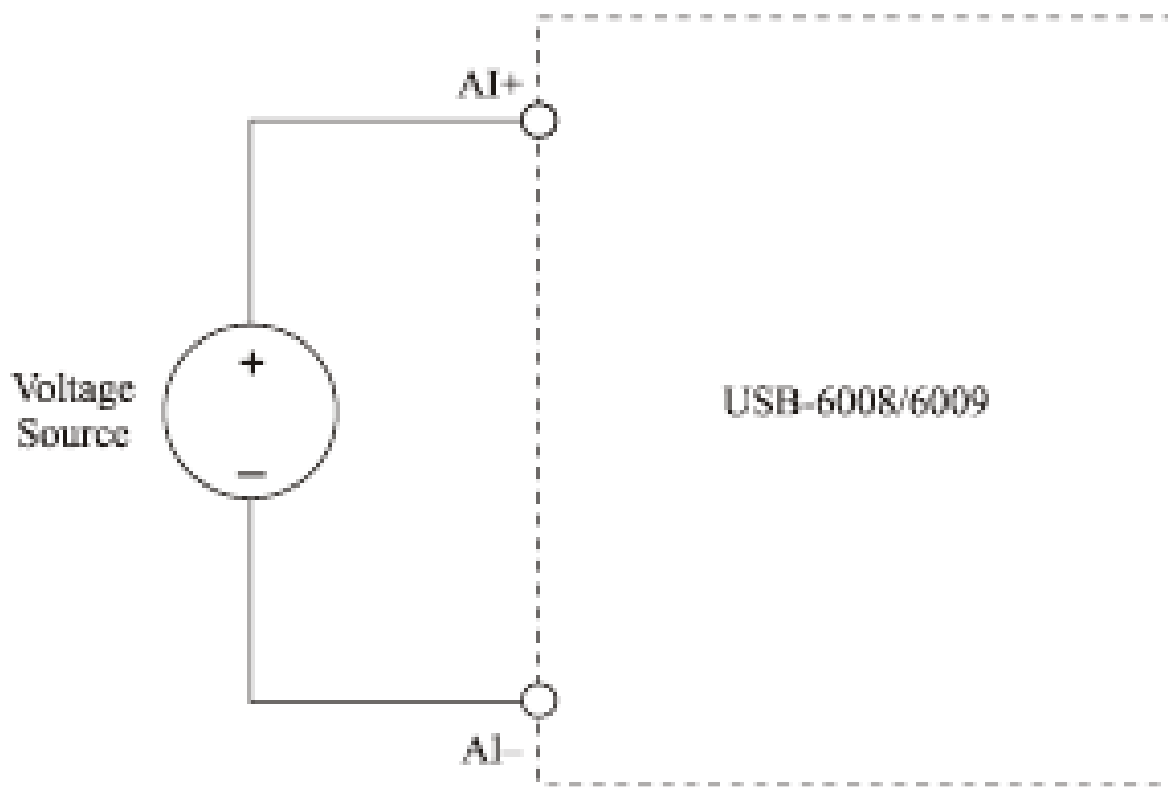


Рисунок 3.4 – Підключення сигналів диференційною схемою

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

Потрібно також пам'ятати, подача сигналу з амплітудою, вищою  $\pm 10$  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.

					БР 3.6.141.351 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4.2

### 3.2.2.2 Підключення сигналів в схемі із загальним нульовим проводом

Для підключення сигналу відповідно схеми із загальним нульовим проводом рис. 3.5, провід із додатною напругою сигналу до любого з терміналів *AI*, а заземлюючий провід сигналу до терміналу *GND*.

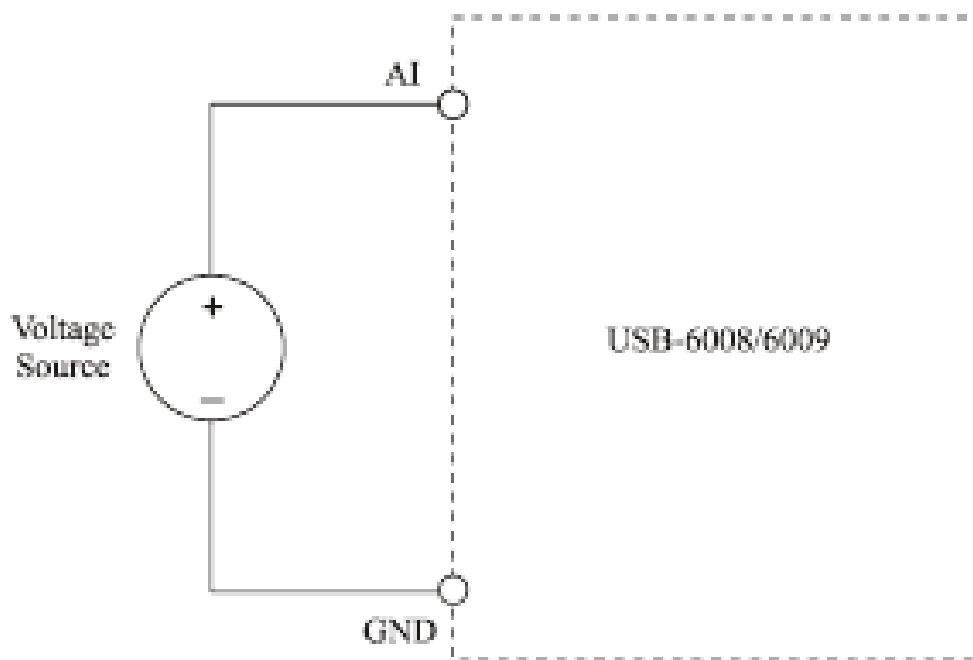


Рисунок 3.5 – Підключення сигналу в схемі з загальним нульовим проводом

## 3.3 Програмний інтерфейс

### 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, зображений на рис. 3.6.

					БР 3.6.141.351 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

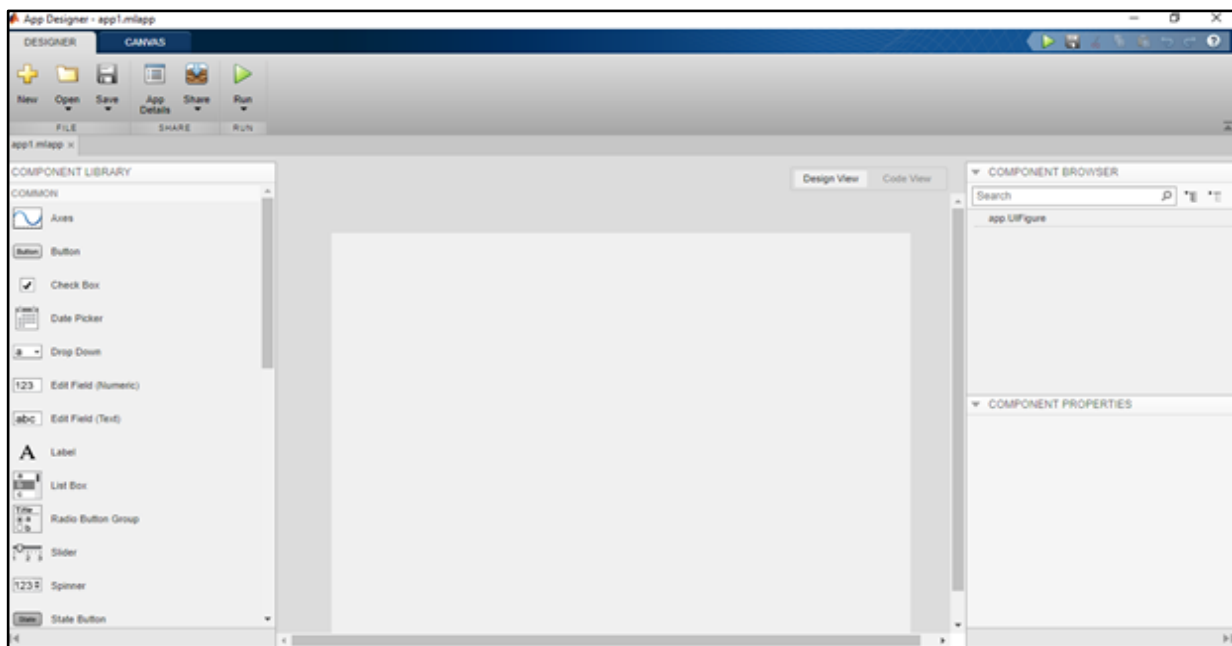


Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд App Designer для створення графічного інтерфейсу

Дизайнер додатків дозволяє створювати програми, не будучи професійним розробником програмного забезпечення. Достатньо перетягувати візуальні компоненти та використовувати підказки для вирівнювання, щоб створити точний макет графічного інтерфейсу користувача (GUI) та використовувати інтегрований редактор для швидкого програмування подальшої поведінки елементів та додатка в цілому. Дизайнер додатків автоматично генерує об'єктно-орієнтований код, який визначає макет та дизайн програми. Зручно використовувати інтегровану версію редактора MATLAB, щоб визначити поведінку програми.

App Designer може автоматично перевірити наявність проблем із кодуванням за допомогою аналізатора коду. Існує вікно де можна переглядати повідомлення попередження та помилки щодо написаного коду, під час його створення та змінювати додаток на основі цих повідомлень.

Доступна функція для упакування будь-якої програми MATLAB в один файл, який можна легко поділитися з іншими користувачами за допомогою MATLAB Desktop та MATLAB Online, дозволяючи запускати та

									Арк.
									4.4
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

співпрацювати над створеним вами дизайном програми, розширивши дозвіл на редагування файлів. Під час упаковки програми MATLAB створює єдиний інсталяційний файл програми (.mlappinstall). Інсталяційний файл дозволяє встановити створений вами додаток та отримати доступ до нього одним клацанням миші з галереї програм.

### 3.3.2 Програма «Аналізатор якості електроенергії»: початкове вікно

На рис. 3.7 зображене початкове вікно програми «Підключення приладу».

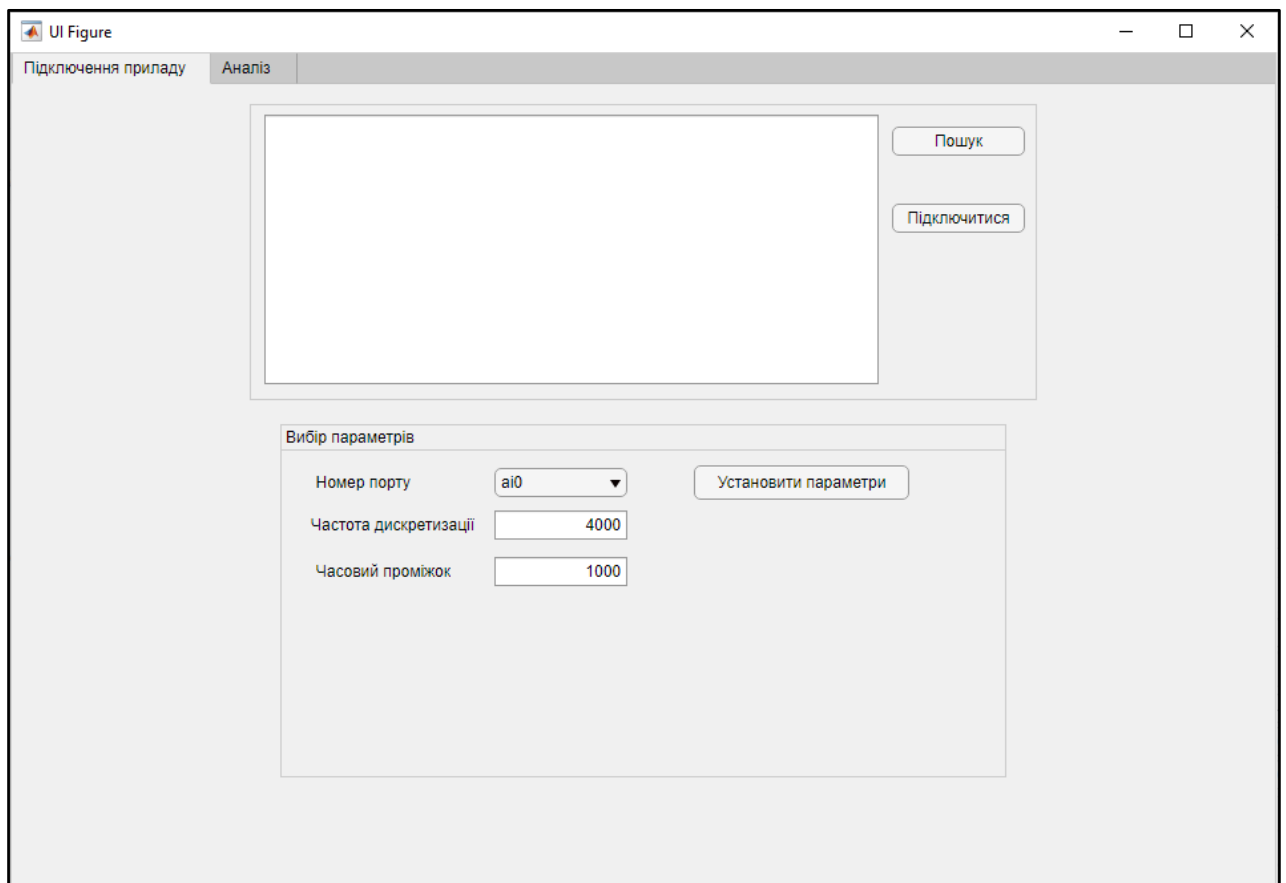


Рисунок 3.7 – Початкове вікно програми

										Арк.
										45
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

В даному вікні виконуються процедури налаштування приладу та режим його роботи з програмою.

Кнопка «Пошук» виконує пошук доступних підключених приладів. Результат виводиться в полі що ліворуч. Після натискання на кнопку «Підключитися» відбувається підключення до даного приладу з подальшим повідомленням про це.

В полі «Вибір параметрів» проводиться налаштування приладу на подальшу його роботу:

- «Номер порту» - вибирається номер порту відповідно до характеристики приладу збору даних NI USB-6009, які описані в пункті 3.2. Підключення відбувається відповідно до вимірювання сигналів диференційною схемою. Підключення слід проводити відповідно до схеми на рис. 3.8

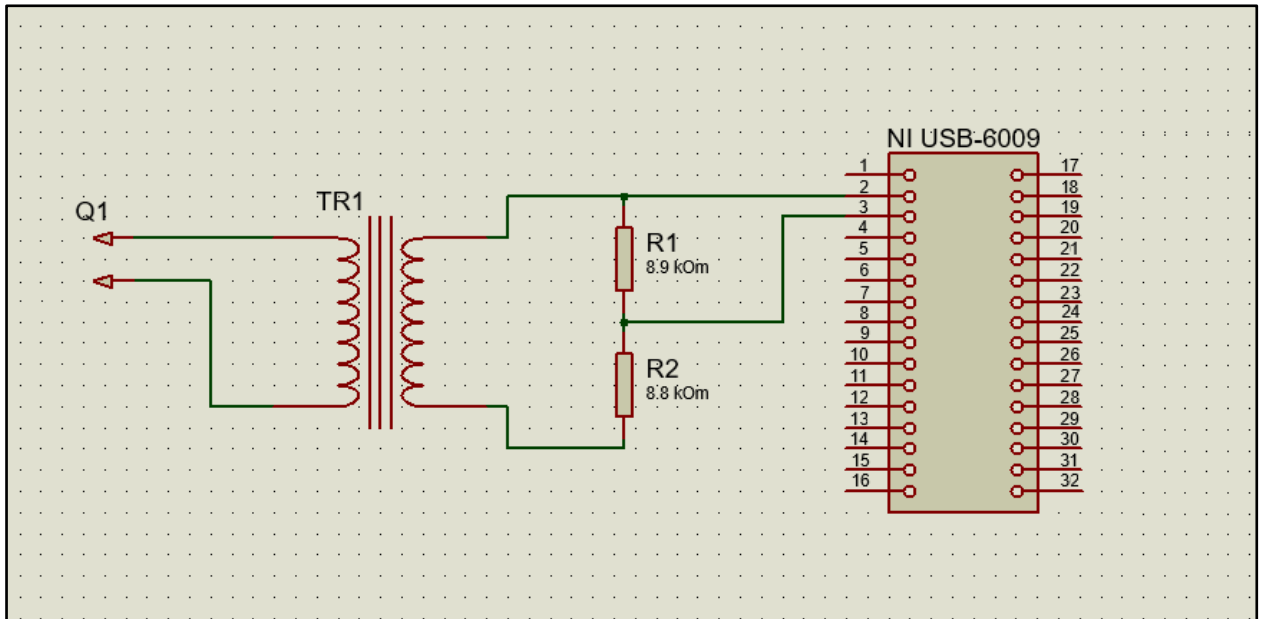


Рисунок 3.8 – Схема підключення дільника напруги до приладу збору даних диференційною схемою:

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.

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

Відповідно при підключенні до АІО потрібно приєднатися до терміналів 2 та 3 та вибрати в пункті програми «Номер порту» відповідного значення. Номера терміналів та їх призначенні приведено в додатку А;

- «Частота дискретизації» - частота дискретизації сигналу за проміжок часу котрий обирається в полі «Часовий проміжок»;
- «Часовий проміжок» - обирається період, за яким буде проводитися вимірювання та обчислення вимірюваних даних.

Після натискання на кнопку «Установити параметри» відбудеться встановлення відповідних попередніх налаштувань та відкриється вікно збереження подальших вимірювальних даних, рис. 3.9.

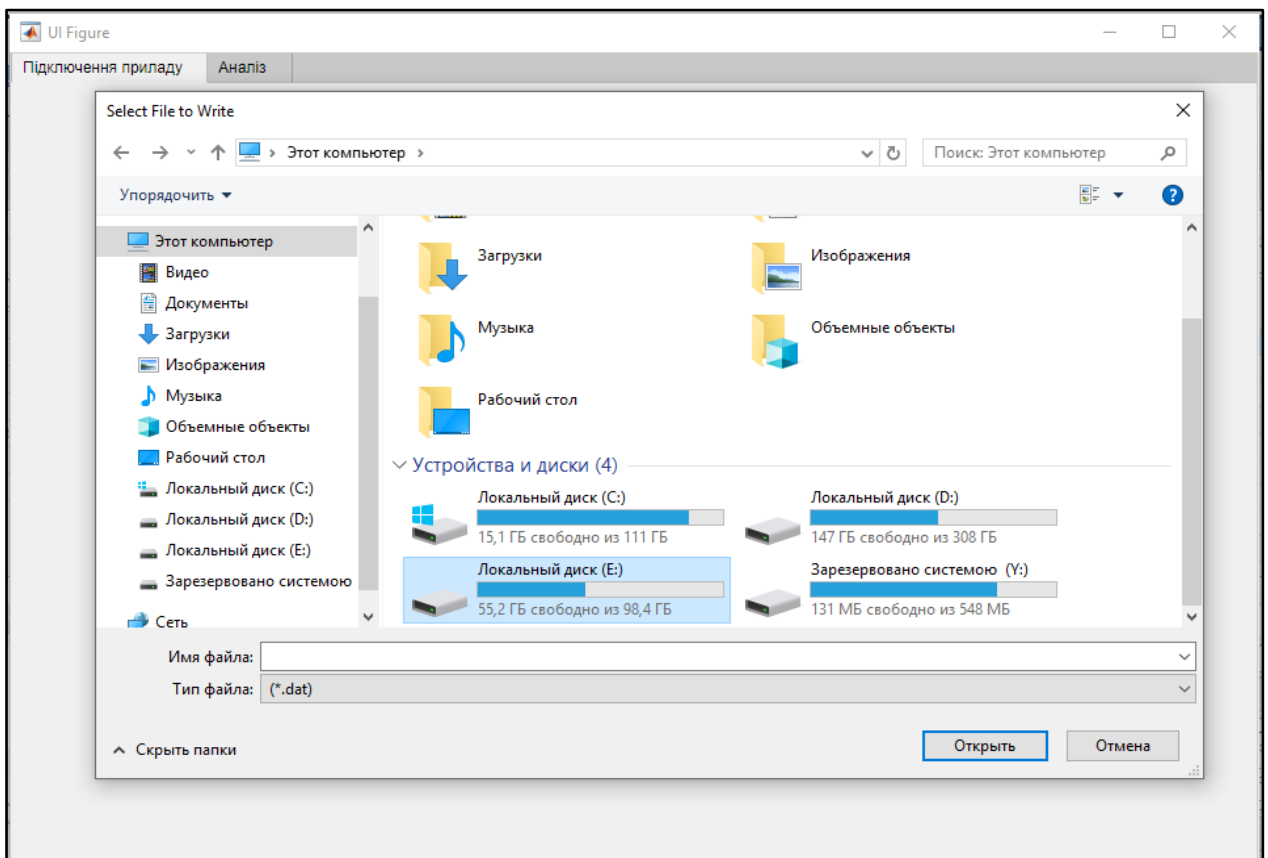


Рисунок 3.9 – Вікно збереження даних

Після даної процедури в полі тексту з'явиться надпис «Успіх!», рис. 3.10. Після цього, можна починати процедуру запису даних із електричної мережі та подальший їх аналіз.

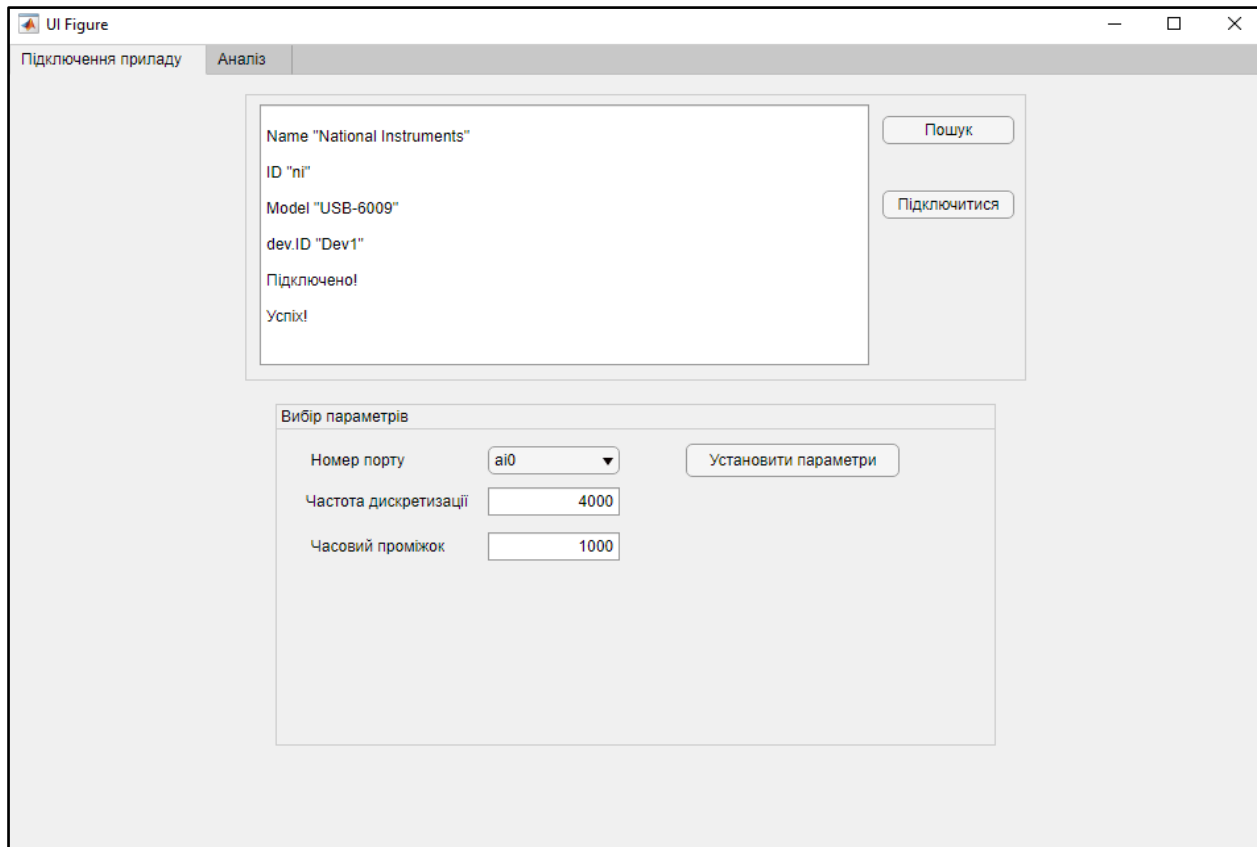


Рисунок 3.10 – Успішне налаштування параметрів приладу для подальшого аналізу

### 3.3.2.1 Програма «Аналізатор якості електроенергії»: панель «Аналіз»

На рис. 3.11 зображено вікно програми «Аналізатор якості електроенергії» панелі «Аналіз».

В даній панелі знаходяться такі елементи:

- Елемент «Axes» для відображення графіка в полі «Амплітуда» частини амплітуди вхідного сигналу. Дана панель відображає форму вхідного сигналу для видимого представлення форми сигналу із

																				Арк.	
																					48
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата																	

існуючими в ньому усіх гармонічних складових сигналу, імпульсів перенапруги, відхилення напруги від номінальних значень, перенапруги та провалів напруги.

- Елемент «Axes» поля «Амплітудно-частотний спектр» для відображення амплітудно-частотного спектру вхідного сигналу. Даний графік показує видиму наявність гармонічних складових сигналу котрі розкладаються відповідно методики описаної в пункті 2.3.1.

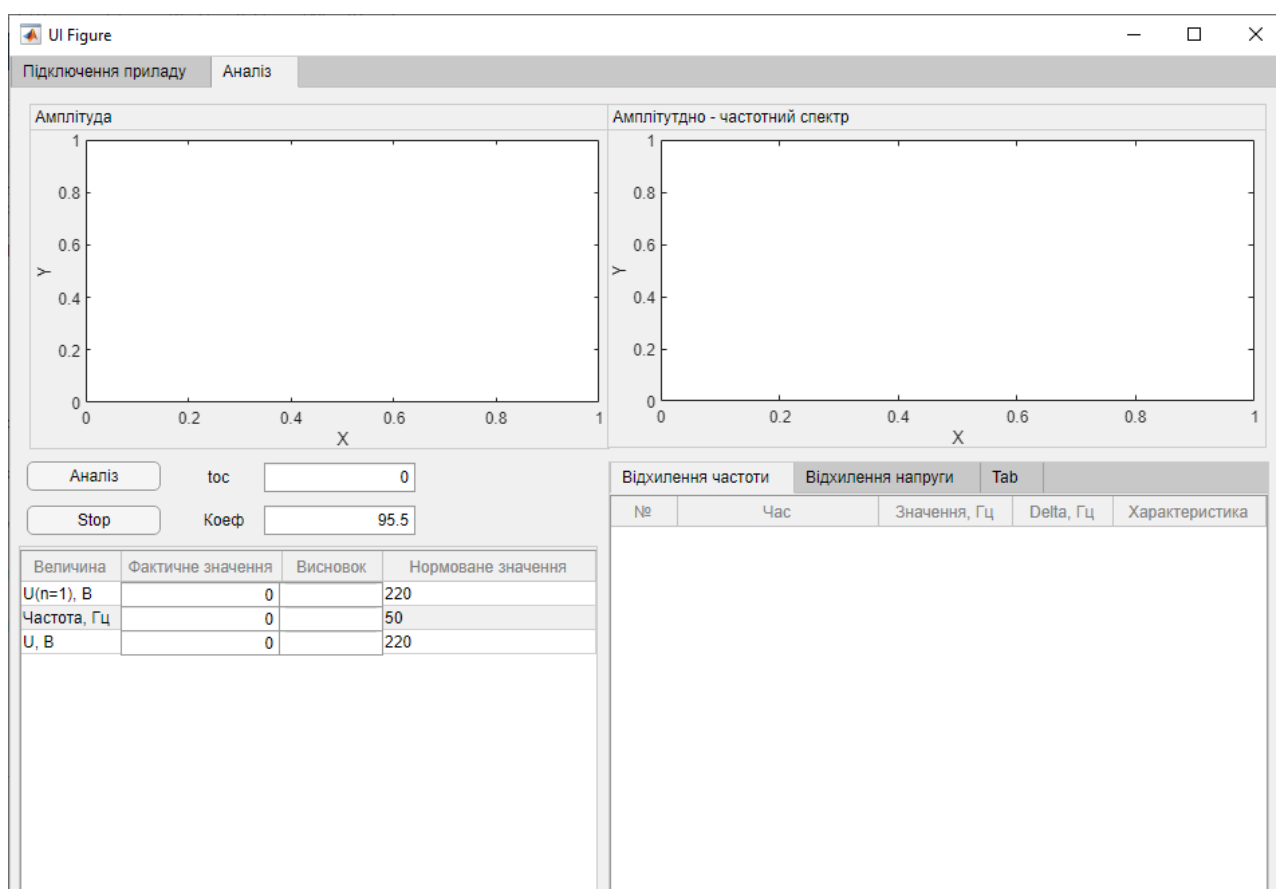


Рисунок 3.11 – Вікно програми панелі «Аналіз»

- Кнопка «Початок» - починає процес аналізу сигналу його аналіз та відображення на панелях, графіках та таблицях.
- Кнопка «Кінець» - зупиняє процес аналізу сигналу.



- Таблиця даних проаналізованих за проміжок часу котрий попередньо вказаний в полі «Часовий проміжок» панелі «Підключення приладу». В даній таблиці виводяться основні величини протягом аналізу:  
 $U_{n=1}, B$  - напруга першої гармоніки, В;  
 «Частота» - частота першої гармоніки;  
 $U, B$  - діюче значення напруги із врахуванням всіх гармонік.
- Панель «Відхилення частоти» рис. 3.12 – таблиця, в яку заповнюються дані аналізу із відповідним усередненням, яке описано в пункті 1.3. Дана таблиця відображає дані наступним чином:  
 «№» - порядковий номер усереднення;  
 «Час» - час та дата в який зроблено усереднення;  
 «Значення, Гц» - числове значення усереднення за відповідний проміжок в Гц.  
 «Delta, Гц» - відхилення частоти знайдено як різниця усередненого значення від нормованого значення вказане в ДСТУ. Знаходиться відповідно формули (1.12) пункту 1.3 даної роботи.  
 «Характеристика» - характеристика усередненого сигналу відповідно пункту 1.3.

					БР 3.6.141.351 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Відхилення частоти		Відхилення напруги		Синусоїдальність	
№	Час	Значення, Гц	Delta, Гц	Характеристика	
46	02-06 11:28:01:106	50	0	Норма	
47	02-06 11:28:21:429	50	0	Норма	
48	02-06 11:28:41:547	50	0	Норма	
49	02-06 11:29:01:904	50	0	Норма	
50	02-06 11:29:22:626	50	0	Норма	
51	02-06 11:29:42:667	50	0	Норма	
52	02-06 11:30:02:731	50	0	Норма	
53	02-06 11:30:22:751	50	0	Норма	
54	02-06 11:30:43:027	50	0	Норма	
55	02-06 11:31:03:565	50	0	Норма	
56	02-06 11:31:24:163	50	0	Норма	
57	02-06 11:31:45:462	50	0	Норма	
58	02-06 11:32:05:681	50	0	Норма	

Рисунок 3.12 – Панель «Відхилення частоти»

- Панель «Відхилення напруги» рис. 3.13 - таблиця, в яку заповнюються дані аналізу напруги основної гармоніки із відповідним усередненням, яке описано в пункті 1.1. Дана таблиця відображає дані наступним чином:

«№» - порядковий номер усереднення;

«Час» - час та дата в який зроблено усереднення;

«Значення, В» - числове значення усереднення за відповідний проміжок. Одиниці вимірювання «В».

«Delta, %» - відхилення напруги основної гармоніки знайдено як різниця усереднення від нормованого значення вказане в ДСТУ. Знаходиться за формулою (1.4) пункту 1.1 даної роботи.

«Характеристика» - характеристика усередненого значення відповідно пункту 1.1.

Відхилення частоти		Відхилення напруги		Синусоїдальність	
№	Час	Значення, В	Delta, %	Характеристика	
2	02-06 11:14:08:590	223.1800	1.4400	Норма	
3	02-06 11:15:08:786	222.1400	0.9700	Норма	
4	02-06 11:16:09:069	219.0800	-0.4200	Норма	
5	02-06 11:17:09:370	220.1800	0.0800	Норма	
6	02-06 11:18:10:089	221.1400	0.5200	Норма	
7	02-06 11:19:10:901	221.3700	0.6200	Норма	
8	02-06 11:20:11:540	221.4800	0.6700	Норма	
9	02-06 11:21:12:223	222.4300	1.1000	Норма	
10	02-06 11:22:13:297	225.5300	2.5100	Норма	
11	02-06 11:23:13:371	225.0700	2.3000	Норма	
12	02-06 11:24:13:393	225.5700	2.5300	Норма	
13	02-06 11:25:14:432	226.8900	3.1300	Норма	
14	02-06 11:26:15:231	224.8900	2.2200	Норма	

Рисунок 3.13 – Панель «Відхилення напруги»

- Панель «Синусоїдальність» рис. 3.14. В даній панелі знаходяться таблиця, в якій відображаються дані найбільших коефіцієнтів n-ої гармонічної складової напруги. Крім того, в даній панелі знаходиться значення «Квикр» - найбільший коефіцієнт викривлення напруги. Даний параметр має нормально допустиме значення і гранично допустиме. Дані значення нормуються відповідно табл. 1.1 даної роботи.

Відхилення частоти		Відхилення напруги		Синусоїдальність	
n	Ku(n)і	K(n)нд	K(n)пґ	Квикр	
1	100	100.0000	150.00	8.531	8 12 %
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		

Рисунок 3.14 – панель «Синусоїдальність»

### 3.3.2.2 Програма «Аналізатор якості електроенергії» алгоритми знаходження всіх показників

В додатку Б зображено блок схему для знаходження основних показників якості електроенергії котрі описані в пунктах 1.1 – 1.3.

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 зміні (масиви, таблиці, кнопки, панелі), присвоюються значення 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 ініціалізація та

підготовка його роботи, порту та його параметрів 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;
- додаткова пере-оголошуються масиви з відповідними необхідними розмірами для збереження тимчасової інформації;
- запускається безкінечний цикл по збору та аналізу даних.

4) «Збір даних» - даний блок являється першою ланкою безкінечного циклу. В даному блоку відбувається збір даних з шини плати у тій відповідності, який вказав користувач. Подальша зібрана інформація зберігається в тимчасовий масив *Data*.

5) «Метод Квіна» - даний блок являється функцією, частина якої зображено на рис. 2.7. Повна модернізована блок-схема зображена в додатку В.

- «Початок» - до функції передаються дані, необхідні для подальшої роботи (*Data*, розмір масиву *Data*), організовуються 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 напруг гармонічного ряду» - даний блок являється першим блоком циклу для знаходження напруги, частоти, фази напруг кожної гармонік від 1 до 40 відповідно пункту 1.2 даної роботи.

- «Розрахунок частоти та напруги» - в даному блоці проводиться збереження даних знайдених минулому пункті до тимчасового завчасно

підготовленому масиві, а також розрахунок суми частоти  $\sum_{i=1}^N f_i$  -

									Арк.
									54
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

формули (1.11) та суми напруги  $\sum_{i=1}^N U_i^2$  формули (1.3). Дані величини зберігаються в спеціально завчасно підготовленій змінній

- «Розрахунок  $K_{U(n)i}$  та  $K_{Ui}$ » - в даному блоці проводиться первинний розрахунок коефіцієнта  $n$ -ої гармонічної складової  $K_{U(n)i}$ , та коефіцієнта викривлення синусоїдальної кривої напруги  $K_{Ui}$  за відповідними формулами (1.5) та (1.8). Знайдені величини зберігаються в тимчасових масивах для подальшої обробки.

- «Існування в спектрі інших гармонік» - в даному блоці проводиться перевірка на існування в спектрі інших не проаналізованих гармонік. У випадку «правди» програма повертається до пункту «Визначення: частоти, напруги, фази напруг гармонічного ряду» та проводяться наступні 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  $\Delta f$ » - в даному пункті проводиться розрахунок усталеного відхилення частоти за формулою (1.11).

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

- «Об'ява змінних  $\Delta f$ » - в даному пункті проводиться процедури по оновленню даних, повторної зачистки попередніх непотрібних даних та об'ява тих самих змінних для наступної ітерації по знаходженню усталеного відхилення частоти.

										Арк.
										55
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

- «Кінець» - проводиться вихід із даної функції.

7) «Перевірка напруги» - в даному пункті проводиться перевірка на розрахунок відхилення напруги. Відповідно табл. Є.1 додатку Є, усереднення слід 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  $U_y$ ,  $\delta U_y$ » - в даному пункті проводиться усереднення відхилення напруги за формулою (1.3) та  $\delta U_y$  за формулою (1.4) даної роботи.

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

- «Об'ява змінних  $U_y$ ,  $\delta U_y$ » - в даному пункті проводиться процедури по оновленню даних, повторної зачистки попередніх непотрібних даних та об'ява тих самих змінних для наступної ітерації по знаходженню відхилення напруги, також проводиться обнуління таймеру напруги, створеного в ручному порядку.

- «Кінець» - проводиться вихід із даної функції.

8) «Перевірка несинусоїдальності» - в даному блоці проводиться перевірка на досягнення інтервалу 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

									Арк.
									56
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

напруги  $K_{(n)i}$ . Даний параметр розраховується відповідно формули (1.7) даної роботи. Одиниці виміру - %.

- «Визначення коефіцієнта викривлення напруги  $K_U$ » - даний блок необхідний для розрахунку коефіцієнта викривлення напруги  $K_U$ . Даний параметр визначається за формулою (1.10) даної роботи. Одиниці виміру - %.

- «Перевірка та 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.

- «Об'ява змінних  $K_{U(n)i}$  та  $K_{Ui}$ » - в даному пункті проводиться процедури по оновленню даних, повторної зачистки попередніх непотрібних даних та об'ява тих самих змінних для наступної ітерації по знаходженню коефіцієнта n-ої гармонічної складової напруги та коефіцієнта викривлення напруги, також проводиться обнуління таймеру для знаходження даних величин.

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

9) « Вивід даних» - в даному блоці проводиться вивід даних до таблиць, оновлення таблиць, оновлення графіків «Амплітуди напруги» та « Амплітудно-частотний спектр» рис. 3.15 та рис. 3.16.

										Арк.
										57
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 3.6.141.351 ПЗ					



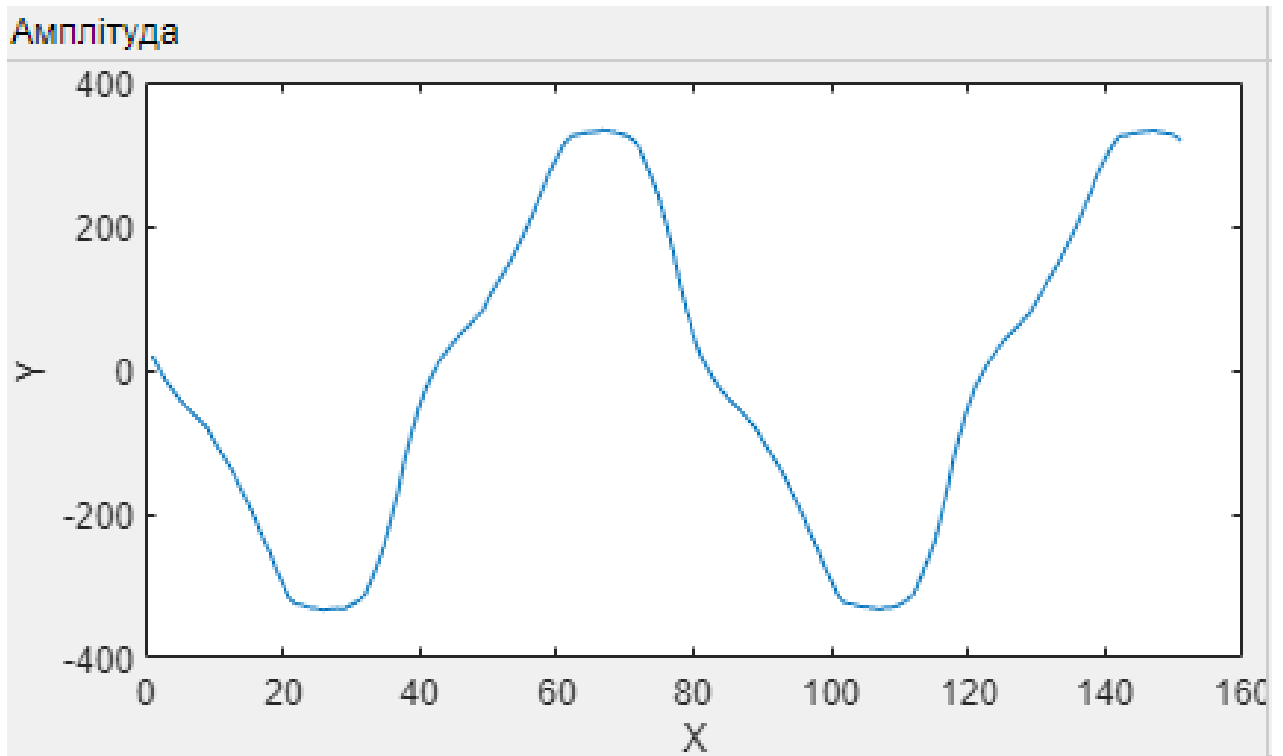


Рисунок 3.15 – Графік «Амплітуда напруги»

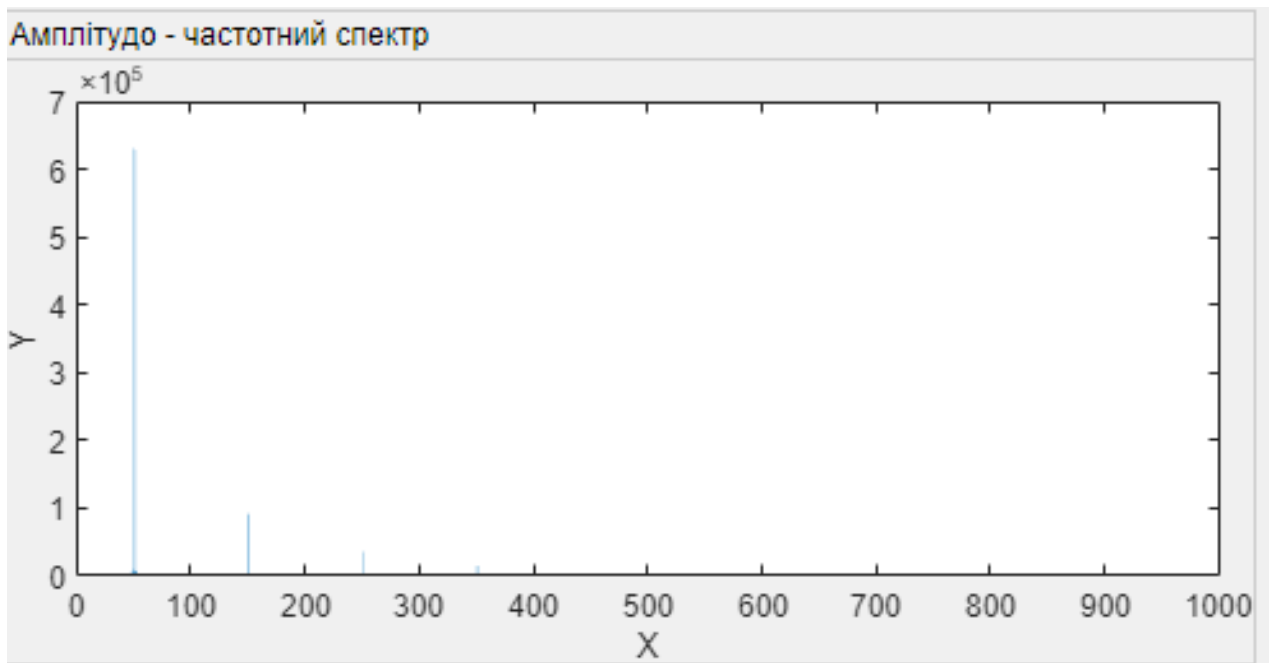


Рисунок 3.16 – Графік «Амплітудно-частотний спектр»

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

					БР 3.6.141.351 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

програма повертається до пункту 4 та проводить операції спочатку. У випадку відкритого прапорця «Стоп» програма переходить до пункту «Кінець».

«Кінець» - в даному пункті програма завершує свою роботу та проводить очищення пам'яті.

					БР 3.6.141.351 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### Організації проведення вимірів електричного навантаження

#### 4.1 Загальні положення

Процедуру проведення вимірів електричного навантаження проводиться суб'єктами електроенергетики і споживачами електричної енергії та складання ними відповідних звітів, які використовуються державним підприємством, яке виконує функції централізованого диспетчерського (оперативно-технологічного) управління об'єднаною енергетичною системою України та його регіональними структурними підрозділами, які здійснюють функції диспетчерського управління, для оцінки поточних і довгострокових режимів роботи об'єднаної енергетичної системи України, планування режимів роботи, дослідження динаміки зростання навантаження та створення розрахункових моделей, на основі яких розробляється схема перспективного розвитку та планування заходів щодо забезпечення надійного електропостачання.

Виміри електричних навантажень проводяться двічі на рік у встановлені Державним підприємством характерні режимні дні літнього та зимового періоду (червень, грудень) на електростанціях і підстанціях суб'єктів електроенергетики, інших виробників та постачальників електричної енергії, електроустановки яких підключено до підприємства електроенергетики, та в електроустановках споживачів для площадок вимірювання з приєднаною потужністю електроустановок 150 кВт та більше і середньомісячним споживанням електроенергії за підсумком минулого року 50000 кВт×год та більше.

Порядок поширюється на Державне підприємство, підприємства електроенергетики, Державну інспекцію з енергетичного нагляду за режимами споживання електричної і теплової енергії та споживачів електричної енергії.

Результати проведених вимірів активної електричної потужності за режимний день використовуються для прогнозування попиту на обсяги

					БР 3.6.141.351 ПЗ	Арк.
						60
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 4.2 Організація проведення вимірів електричного навантаження

Організація проведення вимірів електричного навантаження в режимний день в Державному підприємстві та на підприємствах електроенергетики здійснюється структурними підрозділами, визначеними їх керівниками.

Проведення вимірів електричного навантаження, як правило, призначаються на третю середу червня та грудня. Державне підприємство не пізніше ніж за місяць до проведення вимірів електричного навантаження сповіщає підприємства електроенергетики та Держенергонагляд про дату проведення вимірів та строки надання результатів вимірів за встановленими цим Порядком формами, а також надає відповідні бланки:

а) енергогенеруючим компаніям та електростанціям, які не входять до їх складу:

- протоколи вимірів показників роботи генеруючого обладнання електростанцій за режимний робочий день;

- протоколи вимірів рівнів напруги та навантаження трансформаторів і ліній, що відходять від електростанцій за режимний робочий день;

б) електропередавальним організаціям:

- протоколи вимірів рівнів напруги та навантаження підстанцій 35 кВ та вище за режимний робочий день;

- протоколи вимірів рівнів напруги та навантаження на трансформаторних підстанціях 10(6)/0,4 кВ за режимний робочий день;

Державне підприємство та підприємства електроенергетики організовують проведення вимірів погодинного електричного навантаження на власних електростанціях та підстанціях. Електропередавальні організації організовують проведення вимірів електричного навантаження у споживачів електричної енергії шляхом письмового інформування споживачів про дату та

										Арк.
										62
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

порядок проведення вимірів не пізніше ніж за 15 днів до їх проведення, а також надають їм відповідні бланки:

- протоколів вимірів добового активного електричного навантаження;
- зведених відомостей результатів вимірів активного електричного навантаження;
- протоколів вимірів добового споживання та генерації реактивної потужності;
- зведених відомостей результатів вимірів споживання та генерації реактивної потужності;
- протоколів вимірів фактичної реактивної потужності увімкнених компенсуючих установок;
- зведених відомостей результатів вимірів фактичної реактивної потужності увімкнених батарей статичних конденсаторів;
- добових графіків активного та реактивного електричного навантаження;
- відомостей потужностей компенсуючих установок споживачів для зимового режимного дня.

У разі, коли розрахункові засоби обліку електричної енергії споживачів розташовані на об'єктах Державного підприємства або підприємств електроенергетики, виміри електричного навантаження за цими засобами проводяться персоналом Державного підприємства або підприємств електроенергетики з наступною передачею відповідних протоколів вимірів електропередавальним організаціям та споживачам протягом 5 робочих днів з дня проведення вимірів.

У разі відсутності розрахункових автоматизованих систем обліку електроенергії або засобів обліку електроенергії зі збереженням інформації в режимний день організовується цілодобове чергування персоналу на власних об'єктах електроенергетичних систем, підприємств електроенергетики та споживачів для забезпечення погодинних записів показань засобів обліку активної та реактивної електричної енергії за всіма лініями живлення із

					<i>БР 3.6.141.351 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>63</i>

зазначенням номерів підстанцій, рівнів напруги, показань амперметрів у колах КУ споживачів тощо.

Споживачі проводять виміри погодинного активного та реактивного навантаження в режимний день незалежно від режиму роботи власних електроустановок, виникнення аварійних та інших непередбачених ситуацій, що призвели до зниження електроспоживання, та надають результати вимірів електропередавальної організації не пізніше 10 робочих днів з дня проведення вимірів. Електропередавальна організація здійснює узагальнення інформації виключно за даними вимірів режимного дня.

У разі відхилення добового споживання електричної енергії або споживання активної електричної потужності у години контролю максимуму навантаження ОЕС України понад 10% від даних аналогічного виміру в минулому році, споживачі разом із результатами виміру надають письмові пояснення щодо причин відхилення, а також про можливу невідповідність схеми електропостачання підприємства в день проведення вимірів нормальному режиму роботи.

У разі звернення споживача до електропередавальної організації з обґрунтуванням, що в режимний день його фактичне навантаження не відповідало нормальному режиму електроспоживання, електропередавальна організація призначає проведення вимірів на іншу узгоджену із споживачем дату.

У разі виявлення за результатами вимірів, що фактичне навантаження трансформаторної підстанції в режимний день відрізняється понад 10% від даних аналогічного виміру в минулому році, електропередавальна організація проводить виміри електричного навантаження протягом місяця в інший робочий день за процедурою.

### **4.3 Оформлення результатів вимірів електричного навантаження**

					<i>БР 3.6.141.351 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

За результатами проведених вимірів електричного навантаження споживачі оформлюють протоколи вимірів добового активного навантаження, споживання та генерації реактивної потужності, добовий графік активного та реактивного навантаження, протоколи вимірів фактичної реактивної потужності увімкнених КУ, зведені відомості результатів вимірів активного електричного навантаження, споживання та генерації реактивної електричної потужності, фактичної реактивної потужності увімкнених батарей статичних конденсаторів (БСК). У процесі проведення зимових режимних вимірів споживачі заповнюють відомість потужностей КУ споживачів. Про відсутність БСК, їх демонтаж або відключення КУ та їх опломбування електропередавальною організацією робиться відповідний запис у протоколі вимірів.

Споживачі зазначають у протоколах показання розрахункових засобів обліку активної та реактивної електроенергії на власному підприємстві та окремо щодо кожного субспоживача (за наявності) із зазначенням номерів трансформаторних підстанцій, типів і номерів засобів обліку електричної енергії, розрахункових коефіцієнтів тощо.

У разі, якщо електроспоживання субспоживача з приєднаною потужністю 150 кВт і більше враховується в електроспоживанні основного споживача, режимні виміри електричного навантаження виконує основний споживач, який при цьому окремо зазначає власне електричне навантаження і навантаження кожного субспоживача в протоколах вимірів, добових графіках активного та реактивного електричного навантаження.

Записи показань всіх розрахункових засобів обліку електроенергії виконують щогодини протягом доби (з 0 до 24 години).

Розрахунки погодинного електричного навантаження  $P_n$  проводяться шляхом визначення різниці між поточними  $P_{пот}$  і попередніми  $P_{попер}$  показаннями засобів обліку і множенням різниці на розрахунковий коефіцієнт (КРОЗР) за формулою (4.1):

					БР 3.6.141.351 ПЗ	Арк.
						65
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$P_n = (P_{nom} - P_{nonep}) \cdot K_{роз} \quad (4.1)$$

де  $K_{роз}$  - розрахунковий коефіцієнт, визначається за формулою (4.2).

$$K_{роз} = K_i \cdot K_U \quad (4.2)$$

де  $K_i$  - розрахунковий коефіцієнт;

$K_U$  - коефіцієнт трансформації трансформатора напруги.

За наявності у споживачів декількох точок обліку електричної енергії на одній площадці вимірювання величини погодинного електричного навантаження підсумовуються за всіма точками обліку за кожну годину.

За наявності у споживачів розрахункових автоматизованих систем обліку електроенергії погодинні електричні навантаження у протоколах вимірів заповнюються за даними, зафіксованими зазначеними системами обліку.

За результатами вимірів електричного навантаження згідно з даними протоколів вимірів складаються добові графіки активного та реактивного навантаження.

На добових графіках активного та реактивного навантаження зазначаються:

- приєднана потужність трансформаторів (кВА);
- приєднана потужність високовольтних синхронних двигунів (кВт);
- максимальне активне навантаження в години контролю максимуму ОЕС України (кВт);
- мінімальне активне навантаження протягом доби (кВт);
- споживання активної електричної енергії за добу (тис.кВт×год.);

					БР 3.6.141.351 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

- середньодобове активне навантаження (кВт);
- коефіцієнти заповнення добового графіка в години контролю ранкового та вечірнього максимуму ОЕС України;
- максимальне добове реактивне навантаження (кВАр);
- споживання реактивної електричної енергії за добу (кВАр×год.).

Середньодобове активне навантаження визначається за формулою (4.3):

$$P_C = \frac{A_{\text{доб}}}{24} \quad (4.3)$$

де  $A_{\text{доб}}$  - добове споживання активної електричної енергії у режимний день.

Коефіцієнти заповнення добового графіка для періодів контролю ранкового та вечірнього максимуму ОЕС України визначаються за формулами (4.4) та (4.5):

$$K_{з.р} = \frac{P_C}{P_{\text{max.р}}} \quad (4.4)$$

$$K_{з.в} = \frac{P_C}{P_{\text{max.в}}} \quad (4.5)$$

де  $P_{\text{max.р}}$ ,  $P_{\text{max.в}}$  - максимальне активне навантаження у відповідному періоді контролю.

Протоколи вимірів та зведені відомості підписуються головним енергетиком (або особою, відповідальною за електрогосподарство), а добові графіки активного та реактивного навантаження - керівником підприємства і надаються електропередавальній організації не пізніше 10 робочих днів з дня проведення вимірів.

					БР 3.6.141.351 ПЗ	Арк.
						67
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Споживачі, що мають власні електричні станції, які працюють паралельно з ОЕС України, складають сумарний добовий графік електричного навантаження підприємства. До сумарного графіка включається вся електроенергія, яка отримана від ОЕС України і від власної електростанції, в тому числі і власні потреби електростанції, які, крім того, зазначаються на сумарному графіку окремо.

Споживачі, що мають свої електричні станції, які працюють ізольовано від ОЕС України, складають добові графіки тільки на електричну енергію, отриману від електропередавальної організації.

#### **4.4 Порядок складання звіту погодинного активного навантаження**

За результатами проведених вимірів та отриманих від споживачів протоколів вимірів добового активного електричного навантаження (додаток 5 та зведених відомостей результатів вимірів активного електричного навантаження (додаток 6) електропередавальні організації оформлюють звіт погодинного активного електричного навантаження за режимний робочий день з 10 по 52 рядок включно.

Електропередавальні організації надають до Держенергонагляду до 1 лютого звіт погодинного активного електричного навантаження за режимний робочий день за зимовий режимний день та до 1 серпня - за літній режимний день. Звіти надаються у паперовому та в електронному вигляді. Крім того, надається інформація щодо кількості споживачів, які надали протоколи вимірів і перелік споживачів, які не надали протоколи вимірів.

Держенергонаглядом у регіонах може бути здійснено уточнення навантаження власних і виробничих потреб електричних станцій та навантаження регіонів за даними розрахункових засобів обліку електроенергії.

У разі відхилення добового електроспоживання у режимний день по галузях промисловості та групах споживачів понад 5% від даних аналогічного

										Арк.
										68
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 3.6.141.351 ПЗ					

виміру у минулому році електропередавальної організації разом із звітом надають письмові пояснення щодо причин відхилення.

#### 4.5 Проведення вимірів перетікань реактивної електричної потужності в режимний день та оформлення результатів вимірів

У режимні дні проводяться такі погодинні виміри:

- споживання реактивної потужності з мережі електропередавальної організації ( $Q_{\text{спож}}$ ) за засобами обліку реактивної електроенергії, що контролюють це споживання. Результати вимірів зазначаються в розділі 1 протоколу вимірів добового споживання та генерації реактивної потужності;
- перетікань реактивної потужності з мережі споживача в мережу електропередавальної організації (генерація в мережу електропередавальної організації  $Q_{\text{ген}}$ ) за засобами обліку реактивної електроенергії, що контролюють цю генерацію. Результати вимірів зазначаються в розділі 2 протоколу вимірів добового споживання та генерації реактивної потужності;
- фактичної реактивної потужності увімкнених компенсувальних установок, установлених в електромережах споживача;

Потужність увімкнених БСК визначається за формулою (4.6):

$$Q_{\text{БСК}} = \sqrt{3} \cdot I_A \cdot U \cdot \sin(\varphi) \quad (4.6)$$

де  $I_A$  - сумарний струм увімкнених КУ (А);

$U$  - напруга шин підключення КУ (кВ);

$\sin(\varphi)$  - приймається рівним 1.

									Арк.
									69
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 3.6.14.1.351 ПЗ				

Результати вимірів струмів, напруги та розрахунків потужностей увімкнених БСК зазначаються в протоколі вимірів фактичної реактивної потужності увімкнених компенсуючих установок.

За наявності засобів обліку реактивної електричної енергії на приєднаннях високовольтних БКС їх увімкнена потужність визначається за показаннями засобів обліку.

Величини потужності високовольтних синхронних двигунів, що увімкнені, зазначаються в графі 18 протоколу вимірів фактичної реактивної потужності увімкнених компенсуючих установок

За результатами оформлених протоколів вимірів добового споживання та генерації реактивної електричної потужності і фактичної реактивної потужності увімкнених КУ споживачі складають відповідні зведені відомості.

Відомість потужностей компенсуючих установок споживачів за результатами зимових режимних вимірів заповнюється споживачами та надається електропередавальною організаціям до 31 грудня.

Електропередавальні організації надають до Держенергонагляду відповідного регіону звіти погодинного споживання і генерації реактивної потужності та увімкненої загальної реактивної потужності до 1 березня за зимовий режимний день та до 1 вересня за літній режимний день.

Держенергонагляд відповідного регіону надає до Головодерженергонагляду звіти погодинного споживання і генерації реактивної електричної потужності та увімкненої загальної реактивної потужності до 15 березня за зимовий режимний день та до 15 вересня за літній режимний день.

					<i>БР 3.6.141.351 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>70</i>

## ВИСНОВОК

В бакалаврській роботі проаналізовано та описано методики розрахунку та аналізу основних показників якості електроенергії, які описані в державному стандарті України.

Розроблено вимірювальний комплекс для аналізу величини напруги із однофазних двопровідних електричних мереж напругою 0,38 кВ. Проведено ряд технічних та програмних процедур для налаштування плати збору даних. Розраховано та технічно виконано резистивний подільник напруги та створено гальванічну розв'язку досліджуваної схеми двообмотковим трансформатором.

У програмному комплексі MatLAB розроблено програму забезпечення «Аналізатор якості електроенергії», що здійснює обробку вимірюваного сигналу та аналіз основних показників якості електроенергії у відповідності до діючих міжнародних стандартів та нормативних документів України. Програмний продукт, розроблений у бакалаврській роботі, дозволяє проводити автоматизований вимір напруги та розрахунок усталеного відхилення частоти та напруги, коефіцієнта  $n$ -ої гармонічної складової напруги та коефіцієнта викривлення напруги відповідно DSTU EN 50160: 2014.

Ці параметри є найголовнішими при оцінці показників якості електричної енергії у нашій країні. Всі електричні прилади та установки розраховані на усталені значення, які прописані в DSTU EN 50160: 2014 та ГОСТ 13109-97. Відхилення даних параметрів за нормовані межі несе економічні збитки. Для прикладу, при відхиленні частоти на 1 % збільшуються втрати в електричних мережах на 2%, а при відхиленні частоти в більшу сторону збільшуються струми в обмотках двигунів, внаслідок чого вони перегріваються і ймовірність того, що вони вийдуть з ладу збільшується.

Також відхилення величини напруги від нормованих значень значною мірою впливає на роботу освітлювальних установок, що позначається на фізичному та психічному стані людини. Так, при зміні напруги на 10% світловий потік переважної більшості джерел світла змінюється на 30%.

					БР 3.6.14.1.351 ПЗ	Арк.
						71
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Изд-во стандартов, 1997 г.
2. DSTU EN 50160: 2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності (EN 50160:2010, IDT). К., Мінекономрозвитку України, 2014 р.
3. Елизаров Дмитрий Александрович. Повышение точности оценки показателей несинусоидальности напряжения в электроэнергетических системах: диссертация . кандидата технических наук: 05.14.02 / Елизаров Дмитрий Александрович; [Место защиты: Омский государственный университет путей сообщения]. - Омск, 2014.- 154 с.
4. Юкио Сато. Обработка сигналов. Первое знакомство / Сато Юкио, под редакцией Ёсифуми Амэмия, 1999. 175с.
5. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко – М.: Энергоатомиздат, 2000. 252 с.
6. An Interactive Guide to The Fourier Transform [Электронный ресурс]: [Интернет-портал]. — Режим доступа <https://betterexplained.com/articles/an-interactive-guide-to-the-fourier-transform/>.
7. Quinn, B.G. Estimation of frequency, amplitude and phase from the DFT of a time series / B.G. Quinn // IEEE Trans. Signal Processing, vol. 45, no. 3, 1997. С. 814-817.
8. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів спеціальності 141–Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/Освітня програма «Електротехнічні системи електроспоживання»/ укладачі: І.Л. Лебединський, І.І. Борзенков –Суми: СумДУ, 2019. – 40 с.
9. Дьяконов В. П. MATLAB. Полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.

										Арк.
										72
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

10. Про затвердження Порядку організації проведення вимірів електричного навантаження в режимний день :наказ Міністерства палива та енергетики України від 15.01.2008 р. № 7. Офіційний вісник України. 2008. № 84/14775. с. 39.

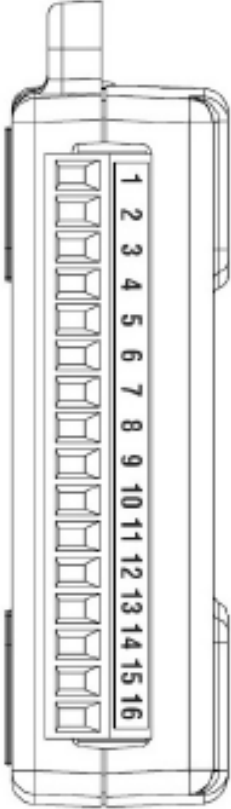
					БР 3.6.141.351 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73



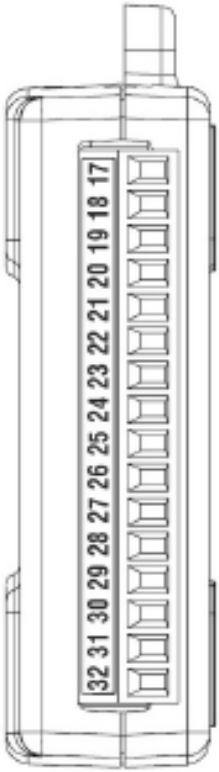
## ДОДАТОК А

### Позначення терміналів входу/виходу аналогових та цифрових сигналів

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

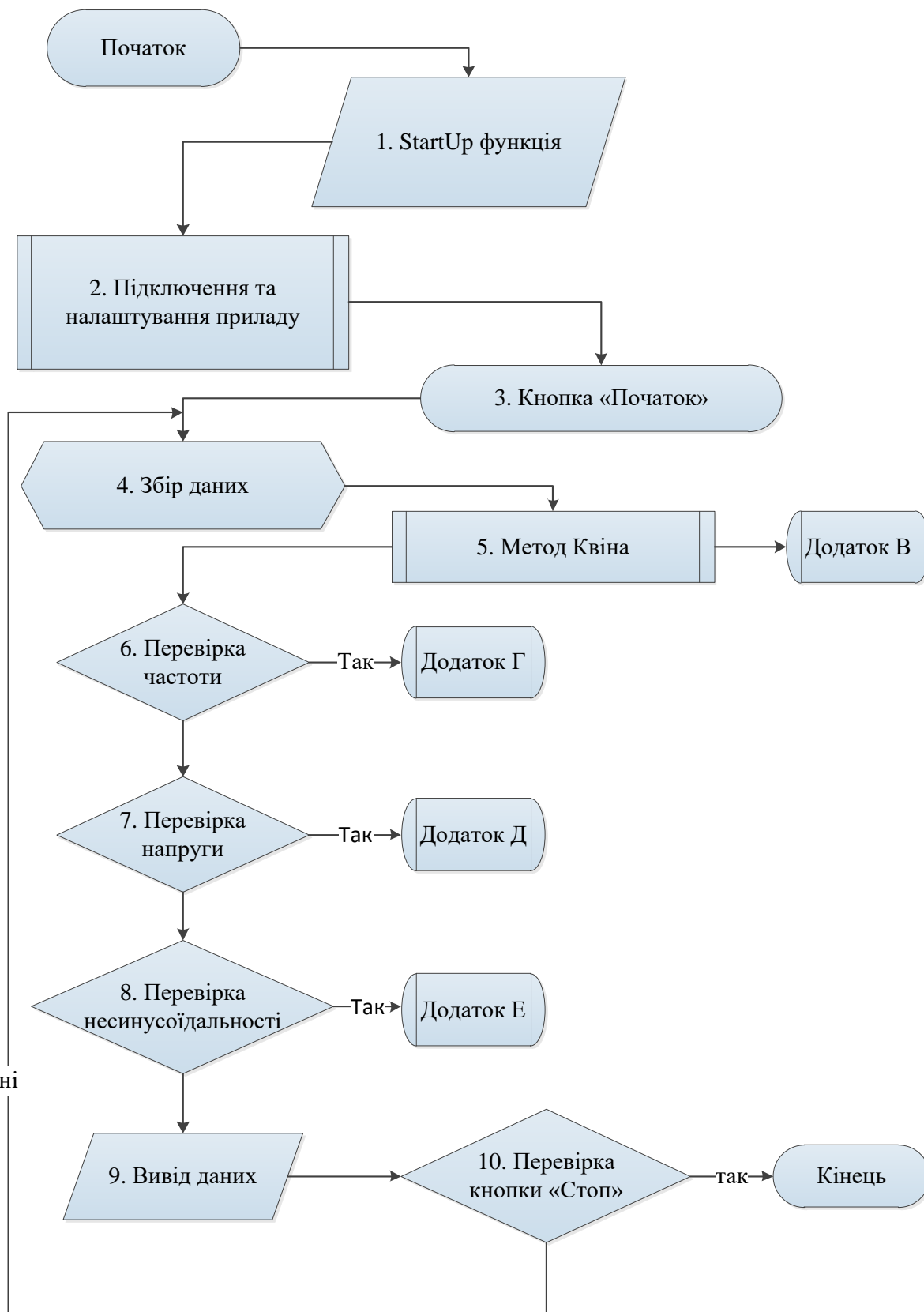
Модуль	Термінал	Схема із загальним проводом	Диференційна схема
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AI 4	AI 4+
	15	AI 8	AI 4-
	16	GND	GND

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

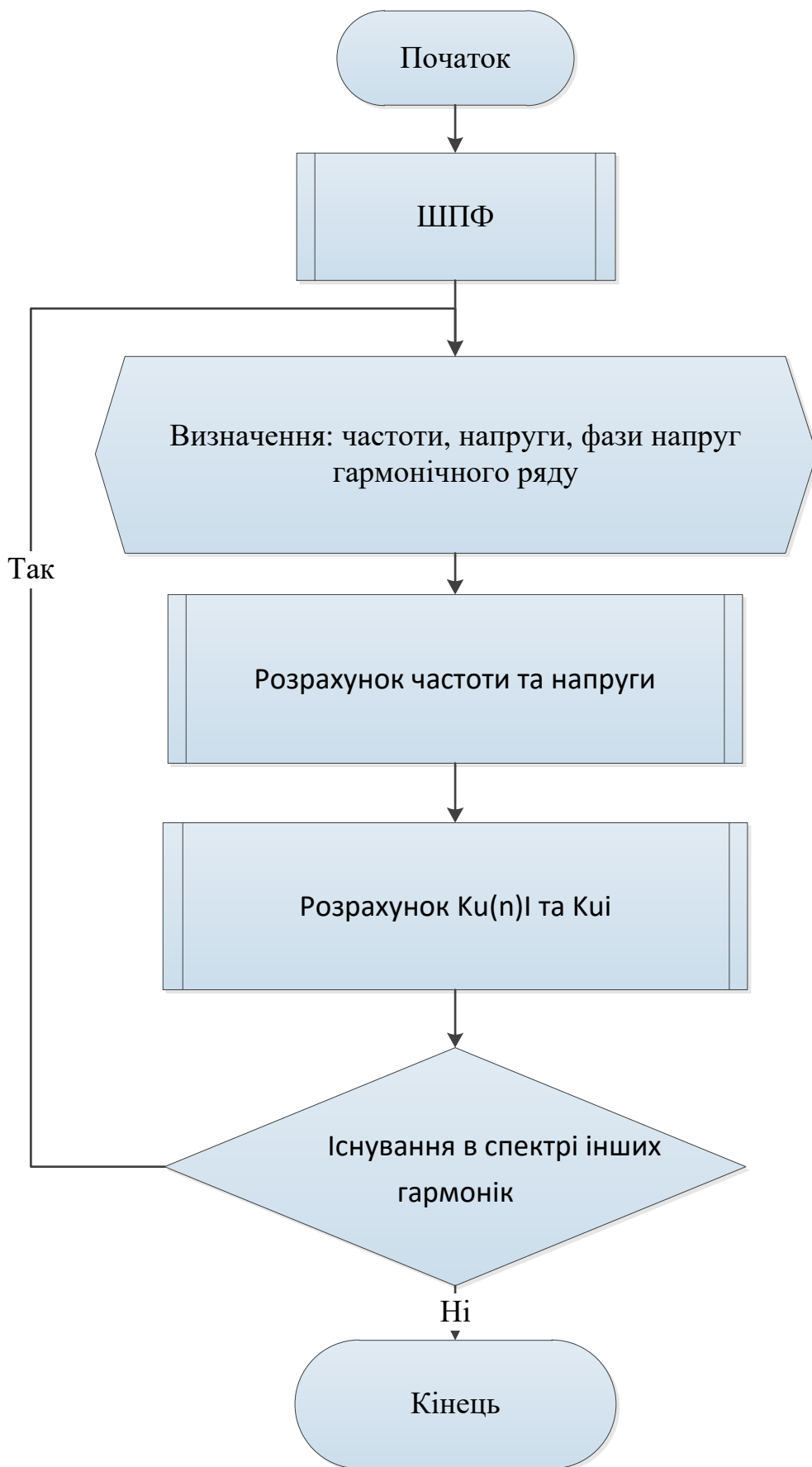
### Блок схема програми «Аналізатор якості електроенергії»



Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## ДОДАТОК В

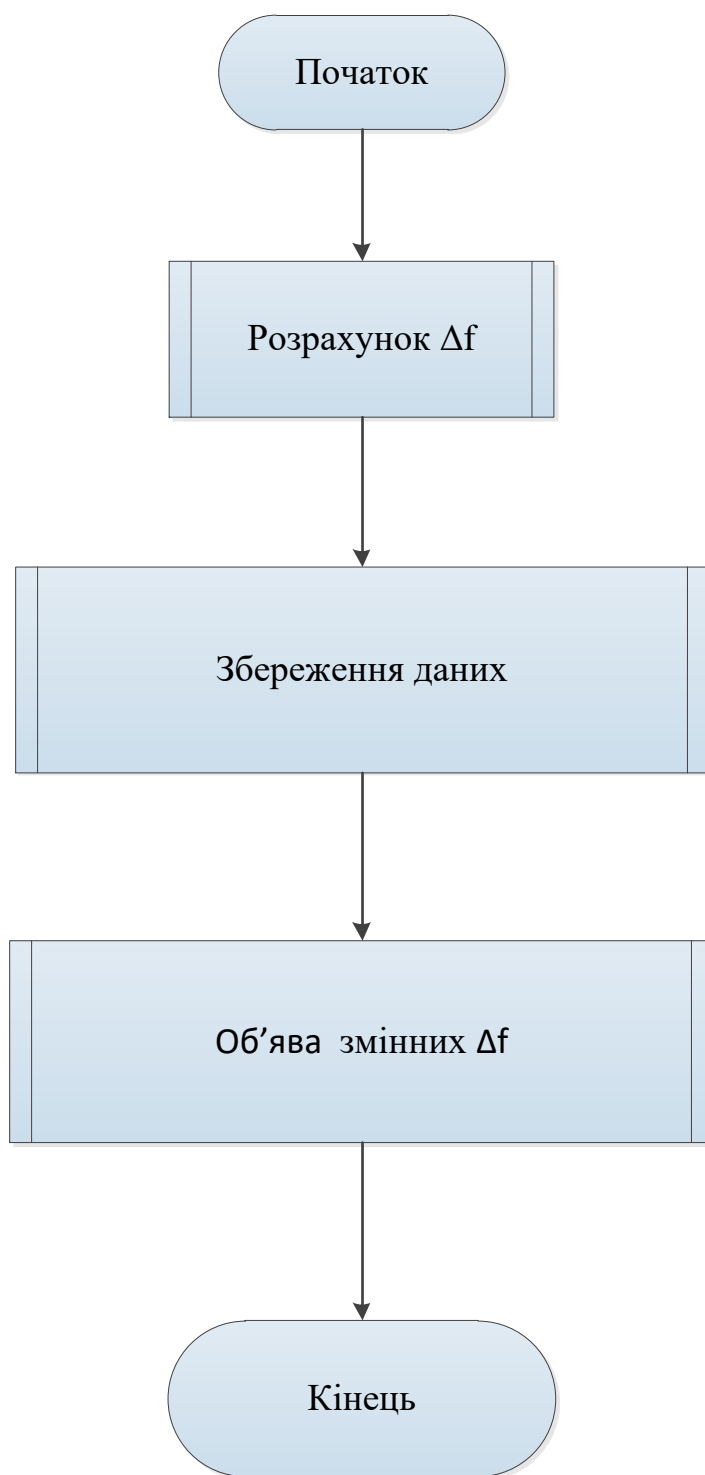
### Блок схема функції «Метод Квіна»



Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## ДОДАТОК Г

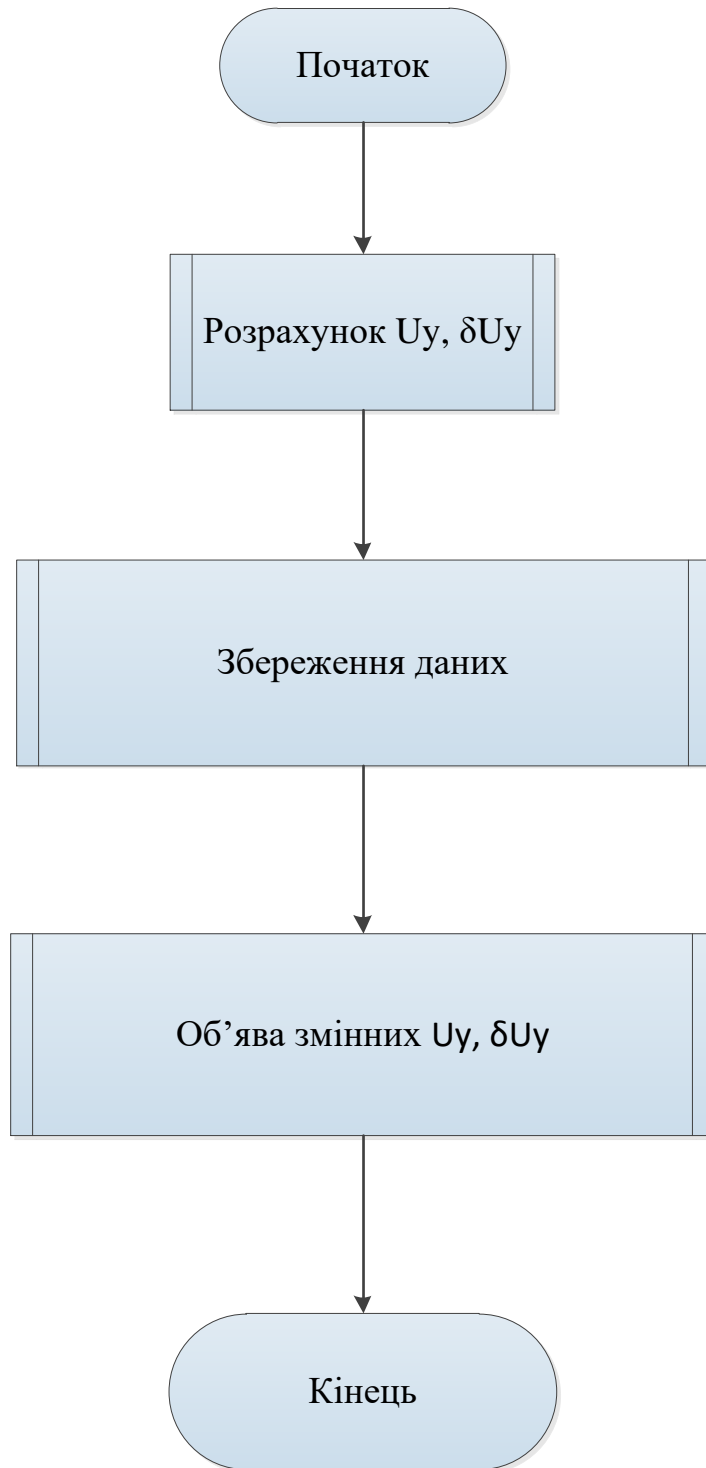
### Блок схема функції «Розрахунок відхилення частоти»



Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Арк.
					78

## ДОДАТОК Д

### Блок схема функції «Розрахунок відхилення напруги»

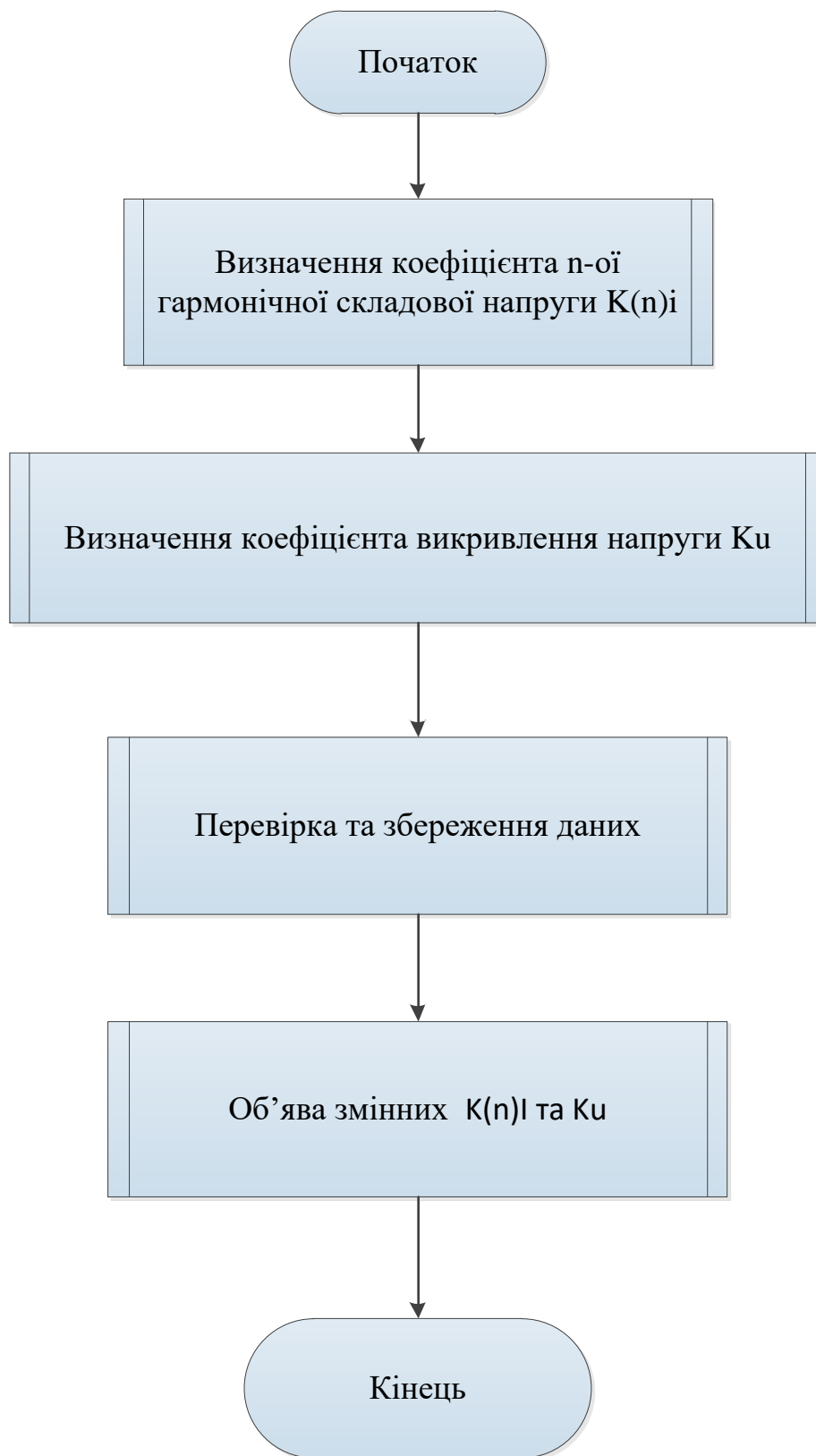


Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Арк.
					79

БР 3.6.141.351 ПЗ

## ДОДАТОК Е

### Блок схема функції «Розрахунок коефіцієнта несинусоїдальності»



## ДОДАТОК Є

### Інтервали усереднення результатів вимірювань показників якості електроенергії

Таблиця Є.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

										Арк.
										81
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 3.6.141.351 ПЗ					