

(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Автоматизований комплекс визначення показників**
якості електричної енергії

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи ЕТмз-62
спеціальності 141

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

Голубюк М.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник _____ ЗІНЬ М.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри _____ Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) (прізвище та ініціали)
«__» _____ 202_ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня _____ магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту _____ Голуб'юка Максима Сергійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизований комплекс визначення показників якості електричної енергії

Керівник роботи Зінь Мирослав Михайлович, к.т.н., доцент

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

Затверджені наказом ректора від «10» жовтня 2024 року № 4/7-984

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Перелік показників якості електричної енергії для дослідження

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

1. Аналітичний розділ

2. Розрахунково-дослідницький розділ

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Презентація

2.

3.

4.

5.

6.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Клепчик В.М., старший викладач		
Нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ		
2	Аналітичний розділ		
3	Розрахунково-дослідницький розділ		
4	Проектно-конструкторський розділ		
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		
6	Висновки		
7	Оформлення пояснювальної записки		
8	Оформлення графічної частини		

Студент

(підпис)

Голуб'юк М.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Зінь М.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Голуб'юк М.С. Автоматизований комплекс визначення показників якості електричної енергії. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. ТНТУ імені Івана Пулюя. ФПТ. Кафедра ЕІ, група ЕТмз-62. – Тернопіль.: ТНТУ, 2025.

Стор. – 69; рис. – 7; табл. – 5; креслень - ; джерел - 17; додатків - 0.

Проведена класифікація порушень якості електроенергії, причини їх виникнення та наслідки. Розглянуті засоби визначення ЯЕЕ. Розглянуті методики визначення показників ЯЕЕ: відхилення напруги, коливання напруги, несинусоїдальності напруги, несиметрії напруги, відхилення і коливання частоти. Розглянуто питання взаємного впливу ПЯЕЕ при розрахунку економічних втрат. Розглянуто питання визначення втрат при відхилення напруги у СЕП, визначення втрат при коливанні напруги в СЕП, визначення втрат при несиметрії напруги у СЕП, визначення втрат при несинусоїдальності напруги у СЕП. Запропонована структура комп'ютерного комплексу. Запропонована принципова електрична схема та проведено її опис. Розглянуто АЦП, який використовується в даній установці. Запропонована блок-схема роботи програмного забезпечення. Проведено зняття результатів на протязі заданого часу. Побудовано графік форми кривої фактичного значення напруги і відхилення напруги; графік фактичного значення струмів у трьох фазах. Проведено аналіз отриманих даних. Як виявилось, основним навантаженням була комп'ютерна техніка, на вході якої стоять імпульсні блоки живлення, які споживають з мережі імпульсний струм. Запропоновано модель імпульсного блоку живлення та проведено моделювання процесу роботи, яке показало, що з мережі дійсно споживається імпульсний струм. Це підтверджується відповідною осцилограмою. Запропоновані заходи щодо покращення ЯЕЕ.

Ключові слова: показники ЯЕЕ, автоматизований комплекс.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	9
1.1 Засоби визначення якості електричної енергії.....	10
1.2. Методика визначення показників ЯЕЕ.....	12
1.2.1. Методика визначення відхилення напруги.....	12
1.2.2. Методика визначення коливання напруги.....	14
1.2.3. Методика визначення несинусоїдальності напруги.....	18
1.2.4. Методика визначення несиметрії напруги.....	23
1.2.5. Методика визначення відхилення і коливання частоти.....	26
1.3 Постановка задач.....	27
2. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	28
2.1. Взаємний вплив ПЯЕЕ при розрахунку економічних втрат.....	29
2.2. Визначення втрат при відхилення напруги у СЕП.....	32
2.3. Визначення втрат при коливанні напруги в СЕП.....	35
2.4. Визначення втрат при несиметрії напруги у СЕП.....	38
2.5. Визначення втрат при несинусоїдальності напруги у СЕП.....	41
2.6 Висновки до розділу.....	43
3. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	44
3.1. Структура комп'ютерного комплексу.....	44
3.2. Принципова електрична схема, її опис.....	47
3.3. АЦП, який використовується в даній установці.....	49
3.4. Блок-схема роботи програмного забезпечення.....	49
3.5. Зняття результатів на протязі заданого часу.....	52
3.6. Аналіз отриманих даних.....	56
3.7. Заходи щодо покращення якості електричної енергії.....	58
3.8 Висновки до розділу.....	58

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ....	59
4.1 Встановлення заземлень на ПЛ.....	59
4.2 Перша допомога при електротравмах.....	62
4.3 Причини електротравматизму.....	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	67

ВСТУП

Актуальність теми. Автоматизований комплекс визначення ПЯЕЕ - це спеціалізована система, яка призначена для моніторингу, вимірювання та аналізу ПЯЕЕ у енергосистемах. Різні комплекси дозволяють безперервно контролювати різні параметри електричної енергії, зокрема напругу, частоту, рівень гармонічних спотворень, асиметрію фаз та інші, що дозволяють забезпечити стабільну і безпечну роботу енергетичних мереж та електричних пристроїв.

Завдання комплексів - це надання змоги оперативно визначати та документувати якість електричної енергії на різних етапах її передачі від генератора до кінцевого споживача. У разі виявлення відхилень від норми система автоматично сповіщає відповідальних осіб, що дозволяє оперативно реагувати на порушення, щоб запобігти їх негативному впливу на обладнання та технологічні процеси.

Система зазвичай включає спеціалізовані вимірювальні прилади, які фіксують основні показники, наприклад, рівень напруги, частоту коливань, а також вимірюють гармонічні спотворення, що можуть впливати на чутливе обладнання, таке як комп'ютерні системи або промислові контролери. Ці дані передаються на центральний контролер, де відбувається їх аналіз, порівняння з нормативами, встановленими державними або міжнародними стандартами.

Для користувача автоматизований комплекс надає можливість переглядати дані через графіки, таблиці або спеціалізовані звіти, що дозволяють оцінити якість електроенергії за певний період часу. Також система може зберігати історію вимірювань, що дає змогу здійснювати ретроспективний аналіз та виявляти довгострокові тенденції.

Таким чином, автоматизовані комплекси для визначення показників якості електроенергії є необхідним інструментом для підтримки стабільності енергетичних мереж, захисту обладнання від негативних впливів порушень якості енергії та забезпечення безперебійної роботи електричних систем.

Тому, задача, яка розглядається в даній роботі, дослідження автоматизованого комплексу визначення показників якості електроенергії є актуальною [1].

Мета і завдання роботи Провести системний аналіз методик визначення показників якості електричної енергії із розглядом автоматизованого комплексу.

Завдання:

1. Провести класифікацію порушень якості електроенергії, причини їх виникнення та наслідки.
2. Розглянути засоби визначення якості електричної енергії.
3. Розглянути методики визначення показників ЯЕЕ.
4. Розглянути питання взаємного впливу ПЯЕЕ при розрахунку економічних втрат.
5. Розглянути питання визначення втрат при: відхиленні напруги, коливанні напруги, несиметрії напруги, несинусоїдальності напруги.
6. Запропонувати структуру комп'ютерного комплексу.
7. Запропонувати принципову електричну схему та провести її опис.
8. Розглянути АЦП.
9. Запропонувати блок-схему роботи програмного забезпечення.
10. Провести зняття результатів на протязі заданого часу. Побудувати графік форми кривої фактичного значення напруги і відхилення напруги; графік фактичного значення струмів у трьох фазах.
11. Провести аналіз отриманих даних.
12. Запропонувати заходи щодо покращення якості електричної енергії.

Об'єкт дослідження – електричні системи та мережі.

Предмет дослідження – показники якості електричної енергії.

Наукова новизна отриманих результатів. Запропонована схемна реалізація дозволяє оптимізувати процес виміру показників якості електричної енергії з дотриманням чинних стандартів.

Практичне значення отриманих результатів. Розглянутий автоматизований комплекс можна використовувати для подальшого дослідження точності визначення значень показників якості електроенергії.

Апробація результатів. Результати Голуб'юка Максима Сергійовича за темою кваліфікаційної роботи «Автоматизований комплекс визначення показників якості електроенергії» були представлені на XIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій” (11-12 грудня 2024 року), м. Тернопіль, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя.

Структура роботи. Робота складається з вступу, 4 розділів, загальних висновків, переліку посилань (17 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини - 69 сторінок, 5 таблиць, 7 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Класифікація порушень якості електроенергії, причини їх виникнення та наслідки наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1. - Класифікація порушень якості електроенергії, причини виникнення та їх наслідки

Вид порушення якості електроенергії	Причина виникнення порушення електроенергії	Наслідки порушення якості електроенергії
Сплески напруги: короткочасне підвищення напруги за межі допуску	Раптове зменшення навантаження чи відключення потужного електропривода	Пошкодження апаратури через пробій електричної ізоляції
Електричні перешкоди (необов'язково періодичні) спотворення синусоїдальності напруги	Погані контакти в проводці та комутаційній апаратурі, незадовільний стан заземлення і радіоапаратури	Порушення роботи обладнання, що управляється мікропроцесорною системою управління
Імпульси (піки, викиди): короткочасні викиди тривалістю від мікросекунд до мілісекунд	Атмосферні розряди, короткі замикання в СЕП, комутація потужних навантажень	Пошкодження електронної апаратури, пробій електричної ізоляції трансформаторів та двигунів
Повне переривання електроживлення	Короткі замикання в СЕП, аварії в електромережах системи	Відключення апаратури
Гармонічні спотворення: періодичні відхилення форми кривої напруги від синусоїди	Дія дугових електропечей, газорозрядних освітлювальних приладів, промислових випрямлячів та інверторів	Перегрів електродвигунів, помилкові спрацювання реле, пробій електричної ізоляції
Відхилення частоти від стандартного значення	Неочікувані зміни навантаження	Порушення роботи принтерів, іншого електронного обладнання

1.1. Засоби визначення якості електричної енергії

Засоби вимірювання відхилень частоти. Для вимірювання відхилення частоти рекомендується використовувати цифровий електронний частотомір у щитовому виконанні Ф – 205 [9].

Прилад має вихід у двійково-десятковому коді для використання з стандартними засобами реєстрації, які обладнані транскрипторами для прийому вказаного коду.

Засоби вимірювання відхилень напруги. Для вимірювання відхилень напруги найчастіше використовують статичний аналізатор якості напруги (САН-1). При його відсутності або при необхідності дослідити зміну напруги в часі або взаємозв'язок режимів напруги і навантаження допускається використання реєструючих приладів.

Для вимірювання фазних і міжфазних напруг у мережах до 380 В включно прилад може підключатися безпосередньо, для вимірювання більш великих напруг – через трансформатор напруги.

Для контролю відхилень напруги у електричній мережі ширину восьми інтервалів рекомендується приймати однаковим [10]. При цій умові і при нульовому положенні перемикача “зсув” загальний діапазон вимірюваних відхилень напруги буде складати:

При ширині інтервалу 1,25 % – від – 5 до + 5 %.

При ширині інтервалу 2,5 % – від – 5 до + 5 %.

При ширині інтервалу 3,75 % – від – 5 до + 5 %.

Прилад дає можливість зсуву вимірюваного діапазону відхилень напруги ступенями по 2,5 % у межах $-10 \div +10$ %. При цьому на відповідне значення змінюється “опорна” напруга і ширина інтервалу, так як ширина відноситься не до номінальної напруги мережі, а до значення “опорної” напруги [11].

Наприклад, при зсуві 10 % “опорна” напруга буде складати 110 % номінальної і ширина інтервалу 2,5 %, яка виражена в процентах від номінальної напруги мережі, буде рівною $1,1 \times 2,5 = 2,75$ %.

Рекомендується першочергово приймати ширину інтервалу 2,5 % і зсув 0 %, що відповідає загальному діапазону вимірювань 20 %.

Після отримання інформації про фактичний діапазон вимірювання напруги в пункті контролю може бути використана ширина інтервалу 1,25 %. При контролі відхилень напруги на затискачах приймачів електричної енергії ширина інтервалу приймається 2,5 %.

Засоби вимірювання несинусоїдальності напруги. Для контролю несинусоїдальності напруги використовується аналізатор несинусоїдальності АН. Він призначений для вимірювання коефіцієнта несинусоїдальності напруги в електричних мережах загального призначення напругою 100 В, 127 В, 220 В, 380 В, частотою 50 Гц. Аналізатор являє собою переносний малогабаритний прилад з двома границями вимірювання коефіцієнта несинусоїдальності напруги: 0–10 % і 0–50 %. Головна похибка АН не перевищує ± 6 %. Це аналоговий вимірювальний прилад, до якого може бути підключений самопишучий вимірювальний прилад (100 мА постійного струму, опір не більше 3 кОм).

Для вимірювання дійсних або амплітудних значень окремих гармонійних складових напруги можуть бути використані аналізатори гармонічних складових.

Засоби вимірювання несиметрії напруги. Для контролю несиметрії напруг використовується прилад Ф4330 аналогового типу, який призначений для визначення коефіцієнта несиметрії напруги в електричних мережах загального призначення напругою 100 В, 220 В, 380 В, частотою 50 Гц.

Діапазон	вимірювання	коефіцієнту	несиметрії:
0 – 2,5 %;	0 – 5,0 %;	0 – 10 %;	0 – 20 %.

Головна похибка вимірювання коефіцієнта несиметрії складає 1,5 дБ.

Окрім вимірювання коефіцієнта несиметрії з допомогою приладу можна визначити відхилення напруги в трьохфазних мережах порівнюючи симетричну складову прямої послідовності і опорної напруги (100 В, 220 В, 380 В), струм, а також кути зсуву між фазами.

До приладу може бути підключений самопишучий прилад Н-390.

1.2. Методика визначення показників ЯЕЕ

1.2.1. Методика визначення відхилення напруги

Відхилення напруги V у характерних точках електричної мережі визначається різницею між фактичним значенням напруги U і її номінальним значенням $U_{ном}$ при умові, що швидкість зміни напруги в секунду не перевищує 1 %, тобто $V = U - U_{ном}$. Якщо V виражається в процентах від номінальної напруги $U_{ном}$, а U і $U_{ном}$ – у вольтах або кіловольтах, то $V = \frac{U - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100$ [2-7].

Відхилення напруги:

$$V_x = \sum_{i=1}^m E_i - \sum_{j=1}^n \Delta U_j,$$

де m – кількість регулюючих пристроїв, які створюють “добавки”;

n – кількість ділянок мережі, на яких мають місце втрати напруги ΔU .

“Добавки”, які створюють батареї конденсаторів, в %, в місці їх приєднання визначаються із наступної формули:

$$E_{БК} = \frac{X_C Q_{БК}}{10U^2},$$

де X_C – опір мережі живлення, Ом.

Втрати напруги:

$$\Delta U_j = (PR + QX) / (10 \cdot U_{ном}^2),$$

де j – номер розглядуваної ділянки мережі.

Втрати напруги у трансформаторі:

$$\Delta U_m = (u_a \cos \varphi + u_p \sin \varphi) \frac{S}{S_n}.$$

Величина втрат напруги не повинна перевищувати значення, при яких з врахуванням “добавок” відхилення напруги на затискачах найбільш віддалених електроприймачів не вийде за межі, які встановлені ДСТУ.

Вищенаведені методи визначення відхилення напруги відносяться до однофазної мережі.

Вимірювання встановленого значення відхилення напруги для трифазної мережі δU_y здійснюється наступним чином.

1) Значення напруги

$$U_{1(1)i} = \sqrt{\frac{1}{12} \left[\left(\sqrt{3} U_{AB(1)i} + \sqrt{4 U_{BC(1)i}^2 - \left(\frac{U_{BC(1)i}^2 - U_{CA(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} + U_{AB(1)i} \right)^2} \right)^2 + \left(\frac{U_{BC(1)i}^2 - U_{CA(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} \right)^2 \right]},$$

Допускається:

– визначати $U_{1(1)i}$ по наступній наближеній формулі:

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

2) Вираховують значення середньої напруги U_y у В (кВ) по наступній формулі:

$$U_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N U_i^2}{N}},$$

де U_i – значення напруги $U_{1(1)i}$ або $U_{1(1)i}$.

3) Розраховують значення встановленої напруги δU_y по наступній формулі:

$$\delta U_y = U_y - U_{ном},$$

або у процентах

$$\delta U_y = \frac{U_y - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100,$$

де $U_{ном}$ – номінальна міжфазна (фазна) напруга B , κB .

Примітка: V – загальноприйняте позначення відхилення напруги, а δU_y – позначення відхилення напруги, яке встановлено ДСТУ.

1.2.2. Методика визначення коливання напруги

У електричній мережі проходить різко збільшений струм (в декілька раз більший, ніж в попередньому режимі навантаження). Дані режими з різкою зміною навантаження являються нормальними робочими режимами. Їх необхідність викликана певними технологічними причинами. Наприклад, короткозамкнутий асинхронний двигун при прямому включенні в мережу являється найбільш простим, дешевим і надійним електроприводом. Коливання напруги електротягової підстанції обумовлені режимами роботи міського транспорту [2-7].

Колівання напруги характеризується наступними показниками:

1) Розмах зміни напруги – це різниця між екстремальними (найбільшим і найменшим) сумісними значеннями напруги у B (κB) при умові, що швидкість зміни напруги не менше 1 % за секунду. Визначається з наступної формули:

$$\delta V = U_{нб} - U_{нм}, \quad (\delta V = \delta U_t)$$

або у процентах

$$\delta V = \frac{U_{нб} - U_{нм}}{U_{ном}} \cdot 100,$$

де $U_{нб}$ і $U_{нм}$ – відповідно найбільше і найменше значення сумісних напруг B (κB);

$U_{ном}$ – номінальна напруга мережі B (κB).

2) Середньою частотою повторення змін напруги у $1/с$, $1/хв$, $1/год$, яка визначається із формули:

$$F = \frac{m}{T}, \quad (F = F_{\delta U_t})$$

де m – 1 % в секунду за час T .

Як правило, $T = 10 хв$.

3) Інтервалом часу між наступними змінами напруги Δt_{ij} ($\Delta t_{i,i+1}$).

Отримаємо:

$$\Delta t_{i,i+1} = t_{i+1} - t_i,$$

де t_i і t_{i+1} – початкові моменти наступних один за одним змін напруги, $с$, $хв$.

Можлива наближена оцінка допустимості коливань напруги, яка може виконуватися в умовах експлуатації по осцилограмам і регістрограмам. Вона базується на співставленні інтервалу між наступним один за одним коливаннями Δt_{ij} ($\Delta t_{i,i+1}$) з допустимим значенням інтервалу $(\Delta t_{ij})_{\text{дон}}$, значенням розмаху δV_i . Коливання вважаються допустимими, якщо $\Delta t_{ij} \geq (\Delta t_{ij})_{\text{дон}}$.

На ділянці реалізації тривалістю T вибирають по регістрограмі перше коливання і визначають величину його розмаху δV_1 і тривалості Δt_{12} . Визначається відповідне допустиме значення інтервалу між коливаннями $\Delta t_{12\text{дон}}$. Значення δV_1 , Δt_{12} і $\Delta t_{12\text{дон}}$ заносяться в таблицю 1.2. Якщо $\Delta t_{12} \geq T_1$, то одиничне коливання вважається допустимим – в рядку 4 табл. 1 ставиться знак “+”, якщо коливання недопустиме – ставиться знак “–”. Беруть наступні зміни напруги, визначають їх параметри і здійснюють оцінку. Результати заносять в табл. 1 і т.д. до кінця реалізації. Визначають відношення λ сумарної тривалості недопустимих коливань (зі знаком “–”) $\sum_{j=1}^m \Delta t_{j(-)}$ до тривалості контрольного

часу T : $\lambda = \sum_{j=1}^m \Delta t_{j(-)} / T$. Якщо $\lambda > 0,05$, тоді коливання напруги протягом

контрольного часу вважається недопустимим, при $\lambda \leq 0,05$ – коливання допустиме.

Таблиця 1.2 - Результати допустимості оцінки коливань напруги

Параметр	Вибірка коливань			
	1	2	i	m
$\delta V, \%$	δV_1	δV_2	δV_i	δV_{m-1}
$\Delta t, c$	Δt_{12}	Δt_{23}	Δt_{ij}	$\Delta t_{m-1,m}$
$\Delta t_{\text{дон}}, c$	$\Delta t_{12\text{дон}}$	$\Delta t_{23\text{дон}}$	$\Delta t_{ij\text{дон}}$	$\Delta t_{m-1,m\text{дон}}$
Оцінка	+	+	–	+

Аналіз гістограм і результатів розрахунку коливань напруги при оцінці допустимості їх можна спростити:

- при однаковому розмаху, якщо допустимі коливання з найменшою тривалістю між сусідніми коливаннями, то допустимі і решту;
- при однаковій тривалості між коливаннями, якщо допустимі коливання з найбільшим розмахом, то допустимі і інші;
- якщо виявляються допустимими коливання з найбільшим розмахом і найменшою тривалістю між коливаннями, то допустимі всі коливання в цілому для даної реалізації.

4) Частотою коливань, яка визначається по наступній формулі:

$$f = \frac{1}{\Delta t_{cp}},$$

де Δt_{cp} – середнє значення інтервалу між сусідніми коливаннями.

Оцінка допустимості коливань здійснюється за умовою

$$\delta V_{cp.kv} \leq \delta V_{\text{дон}},$$

де $\delta V_{cp.kv}$ – середньоквадратичне значення розмахів коливань;

δV_{don} – допустиме значення.

Даний метод можна використовувати, якщо розмахи окремих коливань і інтервалів між ними відрізняються від відповідних середніх значень не більше ніж на $\pm 10 \%$. Вищенаведені методики визначення коливань напруги і їх параметрів мають місце тоді, коли останні (коливання) мають форму меандру.

5) Дозою флікеру – міра сприйняття людиною флікеру за встановлений проміжок часу.

Дозу флікеру визначають:

а) вимірюють із допомогою флікерметра рівні флікеру $P, (\%)^2$, що відповідають інтегральній ймовірності;

б) визначають згладжені рівні флікеру $P_s, (\%)^2$, по наступних формулах:

$$\left. \begin{aligned} P_{1s} &= \frac{P_{0,7} + P_{1,0} + P_{1,5}}{3} \\ P_{3s} &= \frac{P_{2,2} + P_{3,0} + P_{4,0}}{3} \\ P_{10s} &= \frac{P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}}{3} \\ P_{50s} &= \frac{P_{30} + P_{50} + P_{80}}{3} \end{aligned} \right\},$$

в) визначають короткочасну дозу флікеру P_{st} по наступній формулі:

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1s} + 0,0525P_{1s} + 0,0657P_{3s} + 0,28P_{10s} + 0,08P_{50s}};$$

г) визначають довготривалу дозу флікеру P_{Lt} по наступній формулі:

$$P_{Lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{k=1}^{12} (P_{stk})^3}.$$

1.2.3. Методика визначення несинусоїдальності напруги

За останні роки відбулась значна інтенсифікація виробничих процесів, вдосконалення існуючих і запровадження нових технологій [2-7].

Високий рівень вищих гармонічних складових створює негативний вплив:

- збільшуються втрати в мережі в електроприймачах, наприклад у двигунах;
- відбувається прискорене старіння ізоляції електричних машин і апаратів;
- затрудняється (або стає неможливим) використання силових віток в якості каналів для передачі інформації;
- збільшуються похибки вимірювань індукційних лічильників електроенергії;
- виникають телефонні радіоперешкоди, порушується робота приладів релейного захисту, ЕОМ і інше;
- збільшуються струми в нульових проводах.

Характеризується слідуючими показниками:

- а) наявністю вищих гармонічних складових;
- б) коефіцієнтом v -ої складової напруги і струму;
- в) коефіцієнтом викривлення синусоїдальності кривої.

Детальніше розглянемо ці коефіцієнти.

а) Розрахунок вищих гармонічних складових зводиться до визначення струмів і напруг вищих гармонічних складових, які генеруються різними джерелами.

Будь-яка періодична функція зміни несинусоїдальної напруги чи струму задовольняє умовам Діріхле. Тому її можна розкласти у ряд Фур'є за формулою:

$$f(\omega t) = A_0 + \sum_{\nu=1}^n [a_\nu \cos(\nu\omega t) + b_\nu \sin(\nu\omega t)]$$

де ν – номер гармоніки;

a_ν, b_ν – коефіцієнти ряду Фур'є;

n – номер останньої гармоніки;

A_0 – постійна складова.

При $\nu = 1$ визначають гармонічну складову, яку називають першою або основною (з частотою 50 Гц), решту членів ряду називають вищими гармонічними складовими.

Коефіцієнти ряду Фур'є визначають по наступних формулах:

$$a_\nu = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cos(\nu\omega t) d(\omega t)$$

$$b_\nu = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \sin(\nu\omega t) d(\omega t)$$

Амплітуду ν -ої гармоніки визначають:

$$A_\nu = \sqrt{a_\nu^2 + b_\nu^2}$$

Початкову фазу ν -ої гармоніки:

$$\varphi_\nu = \arctg \frac{b_\nu}{a_\nu}.$$

При розкладі струму на гармонічні складові появляються вищі гармонічні складові з порядком:

$$\nu = kp \pm 1,$$

Гармоніки з порядковими номерами $\nu = kp + 1$ утворюють системи е.р.с.; гармонічні складові з порядковими номерами $\nu = kp - 1$ – зворотної послідовності.

Число n рекомендується приймати у залежності від виду нелінійного навантаження: у випадку 6-фазних вентильних перетворювачів достатньо враховувати гармоніки струму порядків 5, 7, 11, 13, 17 і 19; у випадку 12-

фазних – 1, 13, 23 і 25; у випадку електродугових сталеплавильних печей – 2, 3, 4, 5 і 7.

Розрахунок гармонічних складових струму відбувається по-різному, у залежності від того, для яких груп приладів вони проводяться.

Розрахунок гармонічних складових напруги здійснюється на основі лінійних схем заміщення мережі.

$$U_v = X_v \cdot I_v.$$

Аналогічним чином покажемо розрахунок опору v -ї гармоніки у табл. 1.3.

б) Вимірювання коефіцієнта $v-i$ гармонічної складової напруги $K_{(v)i}$.

1. Для $i-го$ спостереження за 24 год визначається діюче значення напруги $v-i$ гармонічної складової $U_{(v)i}$.

2. Визначають значення коефіцієнту $v-i$ гармоніки напруги $K_{U(v)i}$

$$K_{U(v)i} = \frac{U_{(v)i}}{U_{(1)i}} \cdot 100$$

Допускається обраховувати даний показник по наступній формулі:

$$K_{U(v)i} = \frac{U_{(v)i}}{U_{ном}} \cdot 100.$$

Примітка. Відносна похибка вимірювань $K_{U(v)i}$ чисельно рівна значенню відхилення напруги $U_{(1)i}$ від $U_{ном}$.

Таблиця 1.3 - Визначення опору ν -ї гармоніки, Ω

Елемент схеми	Розрахункова формула	
	6 кВ	10 кВ
Живляча енергосистема	$X_{cv} = \nu X_c$	
Трансформатор зв'язку із енергетичною системою потужністю S_{mp} , $MB \cdot A$ $u_k = 10,5 \%$	$X_{mp} = 4\nu / S_{mp}$	$X_{mp} = 11\nu / S_{mp}$
Реактор	$X_{pv} = \nu X_p$	
Навантажений трансформатор ЦТП потужністю S_{mp} , $MB \cdot A$	$X_{mpv} = 12\nu / S_{mp}$	$X_{mpv} = 34\nu / S_{mp}$
Двигун потужністю	$X_{dv} = 6\nu / S_{dv}$	$X_{dv} = 17\nu / S_{dv}$
Косинусний конденсатор	$X_c = U^2 / (\nu Q)$	
Еквівалентні опори навантаження мережі без реактора	$12\nu / (S_{mp\Sigma} + 2S_{dv\Sigma})$	$34\nu / (S_{mp\Sigma} + 2S_{dv\Sigma})$

3) Розраховують значення коефіцієнта $\nu - i$ гармоніки напруги $K_{U(\nu)}$:

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

Значення коефіцієнту $\nu - i$ гармоніки напруги

$$K_{U(\nu)гран} = 1,5 K_{U(\nu)норм}$$

Таблиця 1.4 - Допустиме значення $\nu - i$ гармоніки

Непарні гармонічні складові					Непарні гармонічні складові					Парні гармонічні складові				
n^*	0,38	6-20	35	110-330	n^*	0,38	6-20	35	110-330	n^*	0,38	6-20	35	110-330
5	6,0	4,0	3,0	1,5	3	5,0	3,0	3,0	1,5	2	2,0	1,5	1,0	0,5
7	5,0	3	2,5	1,0	9	1,5	1,0	1,0	0,4	4	1,0	0,7	0,5	0,3
11	3,5	2,0	2,0	1,0	15	0,3	0,3	0,3	0,2	6	0,5	0,3	0,3	0,2
13	3,0	2,0	1,5	0,7	21	0,2	0,2	0,2	0,2	8	0,5	0,3	0,3	0,2
17	2,0	1,5	1,0	0,5	>21	0,2	0,2	0,2	0,2	10	0,5	0,3	0,3	0,2
19	1,5	1,0	1,0	0,4						12	0,2	0,2	0,2	0,2
23	1,5	1,0	1,0	0,4						>12	0,2	0,2	0,2	0,2
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										

в) Вимірювання коефіцієнта викривлення синусоїдності кривої напруги

K_U

1. Визначають діюче значення гармонік напруги

2. Визначають значення коефіцієнта викривлення синусоїдальності кривої напруги K_{Ui} :

$$K_{Ui} = 100 \cdot \sqrt{\sum_{v=2}^{40} U_{(v)i}^2} / U_{(1)i}$$

Допускається обраховувати даний показник по наступній формулі:

$$K_{Ui} = 100 \cdot \sqrt{\sum_{v=2}^{40} U_{(v)i}^2} / U_{ном}.$$

3) Розраховують значення коефіцієнта викривлення синусоїдності кривої напруги K_U :

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

1.2.4. Методика визначення несиметрії напруги.

Несиметрія напруг характеризується напругами зворотної і прямої послідовностей. У результаті збільшуються сумарні значення відхилень від номінальної напруги і, відповідно, погіршується режим напруг у ЕП. Негативно впливає напруга зворотної послідовності на роботу електричних машин обертання [2-7].

У системах електрозабезпечення розрізняють короткочасний (аварійний) і довготривалий (експлуатаційний) несиметричні режими.

Розрахунок показників.

а) Вимірюють коефіцієнт несиметрії напруги по зворотній послідовності K_{2U} .

1) Вимірюють діючі значення міжфазних напруг згідно основної частоти $U_{AB(1)i}$, $U_{BC(1)i}$ та $U_{CA(1)i}$ в В (кВ).

2) Розраховують діюче значення напруги зворотної послідовності основної частоти $U_{2(1)i}$:

$$U_{2(1)i} = \sqrt{\frac{1}{12} \left[\left(\sqrt{3} U_{AB(1)i} - \sqrt{4 U_{BC(1)i}^2 - \left(\frac{U_{BC(1)i}^2 - U_{CA(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} + U_{AB(1)i} \right)^2} \right)^2 + \left(\frac{U_{BC(1)i}^2 - U_{CA(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} \right)^2 \right]}.$$

3) Розраховують коефіцієнт несиметрії напруги по зворотній послідовності K_{2Ui} :

$$K_{2Ui} = \frac{U_{2(1)i}}{U_{1(1)i}} \cdot 100$$

При визначенні K_{2Ui} допускається:

– визначати $U_{2(1)i}$ по наступній наближеній формулі:

$$U_{2(1)i} = 0,62(U_{нб(1)i} - U_{нм(1)i}),$$

– обраховувати K_{2Ui} по наступній формулі:

$$K_{2Ui} = \frac{U_{2(1)i}}{U_{ном.мф}} \cdot 100,$$

4) Розраховують значення коефіцієнта несиметрії напруги по зворотній послідовності K_{2U} :

$$K_{2U} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N K_{2Ui}^2}{N}}.$$

б) Вимірювання коефіцієнту несиметрії напруги по нульовій послідовності K_{0U}

1. Вимірюють діючі значення напруг основної частоти $U_{AB(1)i}$, $U_{BC(1)i}$, $U_{CA(1)i}$, $U_{A(1)i}$ та $U_{B(1)i}$ в В (кВ).

2. Розраховують діюче значення напруги нульової послідовності основної частоти $U_{0(1)i}$:

$$U_{0(1)i} = \frac{1}{6} \sqrt{\left[\frac{U_{BC(1)i}^2 - U_{CA(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} - 3 \cdot \frac{U_{B(1)i}^2 - U_{A(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} \right]^2 + \left[\sqrt{4U_{BC(1)i}^2 - \left(U_{AB(1)i} - \frac{U_{BC(1)i}^2 - U_{CA(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} \right)^2} - \right. \\ \left. - 3 \sqrt{4U_{B(1)i}^2 - \left(U_{AB(1)i} - \frac{U_{B(1)i}^2 - U_{A(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} \right)^2} \right]^2}$$

3. Розраховують коефіцієнт несиметрії напруги по нульовій послідовності K_{0Ui} :

$$K_{0Ui} = \frac{\sqrt{3}U_{0(1)i}}{U_{1(1)i}} \cdot 100$$

При визначенні K_{0Ui} допускається визначати $U_{0(1)i}$ по формулі:

$$U_{0(1)i} = 0,62(U_{нб.ф(1)i} - U_{нм.ф(1)i})$$

– обраховувати K_{0Ui} по наступній формулі:

$$K_{0Ui} = \frac{U_{0(1)i}}{U_{ном.ф}} \cdot 100$$

4) Розраховують значення коефіцієнта несиметрії напруги по нульовій послідовності K_{0U} :

$$K_{0U} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N K_{0Ui}^2}{N}}.$$

в) Діюче значення напруги зворотної і нульової послідовності по методу симетричних складових.

Симетричні складові напруг прямої U_1 , зворотної U_2 , та нульової U_0 послідовності:

$$U_1^{\&} = \frac{1}{3}(U_a^{\&} + aU_b^{\&} + a^2U_c^{\&}),$$

$$U_2^{\&} = \frac{1}{3}(U_a^{\&} + aU_c^{\&} + a^2U_b^{\&}),$$

$$U_0 = \frac{1}{3}(U_a + U_b + U_c),$$

$$a^2 = e^{j2\pi/3} e^{j2\pi/3} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}.$$

1.2.5. Методика визначення відхилення і колювання частоти

Негативно впливає відхилення частоти на електричні мережі промислових підприємств. В цьому випадку збільшуються втрати потужності і напруги і т.д [2-7].

Вимірювання відхилення частоти Δf здійснюють наступним чином.

- 1) Вимірюють діючі значення частоти f_i в Гц.
- 2) Обраховують усереднене значення частоти f_y по наступній формулі:

$$f_y = \frac{\sum_{i=1}^N f_i}{N}.$$

- 3) Розраховують значення відхилення частоти Δf по наступній формулі:

$$\Delta f = f_y - f_{ном},$$

або у процентах, (%):

$$\Delta f = \frac{f_y - f_{ном}}{f_{ном}} \cdot 100,$$

Розмах колювань частоти:

$$\delta f = f_{нб} - f_{нм},$$

або у процентах, (%):

$$\delta f = \frac{f_{нб} - f_{нм}}{f_{ном}} \cdot 100.$$

1.3 Постановка завдань

1. Провести класифікацію порушень якості електроенергії, причини їх виникнення та наслідки.
2. Розглянути засоби визначення ЯЕЕ.
3. Розглянути методики визначення показників ЯЕЕ.
4. Розглянути питання взаємного впливу ПЯЕЕ при розрахунку економічних втрат.
5. Розглянути питання визначення втрат при: відхиленні напруги, коливанні напруги, несиметрії напруги, несинусоїдальності напруги.
6. Запропонувати структуру комп'ютерного комплексу.
7. Запропонувати принципову електричну схему та провести її опис.
8. Розглянути АЦП.
9. Запропонувати блок-схему роботи програмного забезпечення.
10. Провести зняття результатів на протязі заданого часу. Побудувати графік форми кривої фактичного значення напруги і відхилення напруги; графік фактичного значення струмів у трьох фазах.
11. Провести аналіз отриманих даних.
12. Запропонувати заходи щодо покращення якості електричної енергії.

2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

При оцінці втрат від зниження якості електричної енергії (ЯЕЕ) враховується збільшення втрат активної потужності при зниженій якості напруги, зменшення терміну служби електрообладнання і збільшення капітальних вкладень у систему електрозабезпечення у зв'язку з зниженням ефективності використання передаючих елементів електричної мережі. Економічні втрати від зниження ЯЕЕ являються результатом сумарного впливу відхилень ПЯЕЕ на роботу електричного обладнання:

$$Z = Z_{\text{від}} + Z_n,$$

де $Z_{\text{від}}$ – втрати, викликані відхиленням напруги;

Z_n – втрати, викликані несинусоїдальністю та несиметрією напруги.

Втрати, викликані додатковими втратами активної потужності знаходяться за формулою:

$$Z_1 = 0,01 \cdot Z_e \sum_{i=1}^n \Delta P_i \cdot T_i,$$

де Z_e – вартість 1 $\text{кВт} \cdot \text{год}$ втрат електричної енергії, $\text{грн} / (\text{кВт} \cdot \text{год})$, визначається по двохставочному тарифу;

ΔP_i – у i -ї групі однорідних елементів, кВт ;

T_i – тривалість роботи в році i – i групи однорідних елементів, $\text{год} / \text{рік}$;

n – число груп однорідних елементів, які розглядаються.

Втрати, викликані зниженням терміну служби електричного обладнання, $\text{грн} / \text{рік}$:

$$Z_2 = \sum_{i=1}^n Z_i \cdot \frac{\gamma_i - 1}{1 + E_n \cdot T_{ni}}.$$

Втрати, викликані зниженням ефективності використання елементів СЕП:

$$Z_3 = \sum_{j=1}^m \Delta Z_j,$$

де ΔZ_j – додаткові приведені затрати на підсилення j -го елементу електричної мережі, грн / рік;

m – число передаючих елементів електричної мережі, що розглядаються.

Кратність зменшення терміну служби, який обумовлений несиметрією та несинусоїдальністю напруг визначається по наступній формулі:

$$\gamma = e^{k_{\text{вкр}}},$$

де $k_{\text{вкр}}$ – коефіцієнт викривлення:

$$\text{– для двигунів: } k_{\text{вкр}} = d' \cdot \varepsilon_U^2 + d'' \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{v \cdot \sqrt{v}};$$

$$\text{– для трансформаторів: } k_{\text{вкр}} = d' \cdot \varepsilon_U^2 + d'' \sum_{v=2}^{\infty} \frac{1 + 0,5v^2 + \frac{1,7}{\sqrt{v}}}{v \cdot \sqrt{v}} U_v^2;$$

$$\text{– для силових конденсаторів: } k_{\text{вкр}} = d' \cdot \varepsilon_U^2 + d'' \sum_{v=2}^{\infty} v U_v^2.$$

2.1. Взаємний вплив ПЯЕЕ при розрахунку економічних втрат.

Взаємний вплив ПЯЕЕ проявляється в різній мірі.

Несиметрія напруг при значенні коефіцієнтів несиметрії 4–5 % трохи впливає на зміну гармонічних складових канонічних порядків нелінійних навантажень, а також аномальних гармонічних складових, що з'являються при несиметрії. Істотніше на відхилення напруги впливає струм прямої послідовності основної частоти [13].

При підключенні до шин підстанції (із $S_{\text{кз}}$ та навантаженням S_n) несиметричного навантаження, яке споживає струми прямої та зворотної послідовностей $\dot{I}_1$ та $\dot{I}_2$ відносно значення відхилення напруги $\Delta \dot{V}_{2*}$, визначається із виразу:

$$\Delta \dot{V}_{2*} = \frac{K \dot{\varepsilon}_* e^{j\varphi_2}}{\sqrt{\left[1 + (S_H/S_{K3}) \sin \varphi_H\right]^2 + \left[(S_H/S_{K3}) \cos \varphi_H\right]^2}},$$

$$\text{де } \varphi_2 = \arctg \frac{(S_H/S_{K3}) \cos \varphi_H}{1 + (S_H/S_{K3}) \sin \varphi_H};$$

$$K = \dot{I}_1 / \dot{I}_2;$$

φ_H – фазний кут навантаження;

$\dot{\varepsilon}_*$ – комплекс коефіцієнта несиметрії напруги,

$$\arg \dot{\varepsilon}_* = (\pi/2) + \arg \dot{I}_2.$$

Цей вираз можна додатково спростити, прийнявши амплітудну похибку до 5% та кутову до 4° :

$$\Delta \dot{V}_{2*} = \frac{K \dot{\varepsilon}_* e^{j\varphi_2}}{1 + (S_H/S_{K3}) \sin \varphi_H}.$$

При $\dot{\varepsilon}_* = 0,04$; $S_H/S_{K3} = 0,1$; $\sin \varphi_H = 0,6$ отримаємо $\Delta \dot{V}_{2*} = 0,038 e^{j\frac{5}{6}\pi}$.

Додаткове відхилення напруги 1-ї гармонічної складової прямої послідовності $\Delta V_{2*} = 0,035$, тобто 3,5 %.

Коливання напруги, як відомо, представляються обвідною кривою напруги, що має близький до періодичного (прокатні стани) або неперіодичного (сталеплавильні печі електродуг) характеру [14]. У першому випадку мають місце амплітудно-модульовані коливання з дуже малими відносними амплітудами бічних частот, а в другому випадку спектр коливань є суцільним. При амплітудній модуляції діюче значення напруги U знижується порівняно із напругою U за відсутності коливань:

$$U_\kappa = U(1 - m),$$

де $m = (U - U_{\min})/2$ – індекс модуляції;

$U_{\min}$ – мінімальне значення напруги.

Відхилення напруги впливають в найбільшій мірі на значення ПЯЕЕ, особливо – на величину несинусоїдальності напруги. Покажемо це на прикладі

вентильних перетворювачів електролізних установок, що працюють з постійним випрямленим струмом. Відхилення напруги ΔV_* обумовлює зміну кута управління α на деяку величину $\Delta\alpha$, приростом кута комутації γ у цьому випадку можна знехтувати. З виразу для коефіцієнта зсуву $\cos(\alpha + \Delta\alpha) = \cos\varphi / (1 + \Delta V_*)$ слідує $\Delta\alpha = \Delta V_* / \operatorname{tg}\varphi$. З урахуванням виразів для 1-ї гармоніки мережевого струму I_1 та прирости ν -ї гармоніки ΔI_ν можна записати:

$$I_1 = \frac{3}{\pi} \gamma \sin\left(\alpha + \Delta\alpha + \frac{\gamma}{2}\right);$$

$$\Delta I_\nu = \frac{6}{\pi} \sin\alpha \sin(\gamma\nu/2) \cdot \Delta\alpha.$$

Враховуючи вираз для $\Delta\alpha$, отримаємо $\Delta I_\nu / I_1 = (2/\gamma\nu) \cdot \sin(2/\gamma\nu) \cdot (\Delta V_* / \operatorname{tg}\varphi)$.

Похибка цього виразу, яка обумовлена знехтуванням кута комутації, не перевершує 5 %. При $\gamma = 0,2$, $\Delta V_* = 0,1$ та $\operatorname{tg}\varphi = 1$, отримаємо $\Delta I_5 / I_1 = 0,1$.

Таким чином, значення гармонічних складових напруги при відхиленні його від номінального значення $U_{\nu(\Delta V)}^*$ можна представити у вигляді:

$$U_{\nu(\Delta V)}^* = \frac{U_\nu K_{\Delta V}}{U_n (1 + \Delta V_*)},$$

де $K_{\Delta V}$ – коефіцієнт, що характеризує зміну гармонічних складових струму нелінійних навантажень за наявності відхилень напруг.

З викладеного слідує, що при оцінці втрат в промислових електромережах слід враховувати, що відхилення ΔV визначається не тільки параметрами $g_{\Delta V}$, які враховуються при нульових значеннях решти показників якості, але також параметрами, що характеризують несиметрію ε і коливання δV напруги: $\Delta V = \Delta V(g_{\Delta V}; \varepsilon; \delta V)$.

Аналогічним чином повинен враховуватися вплив відхилень напруги на рівні окремих гармонічних складових напруги в мережі:

$$U_v = U_v(g_v; \Delta V),$$

де g_v – сукупність величин, що визначають напругу гармонічних складових в мережі за відсутності (або неврахуванні) відхилень напруги.

2.2. Визначення втрат при відхиленні напруги у СЕП

Формула для визначення втрат [8, 12]:

$$Z = Z(U) - Z(U_{ном}).$$

Втрати оцінюють у гривнях за певний період часу, наприклад, за 1 годину.

Досліди показують, що на результуючу характеристику найбільше впливає зміна виробленої продукції. Іншими складовими економічних характеристик, які мають значну питому вагу, являються втрати від перерозходу електричної енергії і втрати від зміни терміну служби приймачів електричної енергії. Наприклад, робота асинхронного двигуна і пов'язаного з ним виробничого механізму при відхиленні напруги від номінальної за одиницю часу викликає сумарний збиток, який можна обрахувати за наступною формулою:

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4.$$

Втрати Z_1 , викликані зміною продуктивності обладнання, визначаються по формулі:

$$Z_1 = (\Pi_{ном} - \Pi)\alpha t,$$

де $\Pi_{ном}$ та Π – часова продуктивність обладнання при роботі двигуна відповідно із номінальною та відмінною від неї напругою;

α – вартість одиниці продукції, яка виготовляється даним обладнанням;

t – час, за який визначаються втрати.

Складові сумарних втрат від зміни споживання активної Z_2 та реактивної Z_3 потужностей асинхронного двигуна визначаються по наступних формулах:

$$Z_2 = (P - P_{ном}) c_0 t;$$

$$Z_3 = (Q - Q_{ном}) c_0 t k_{з.в},$$

де $P_{ном}$ та P – споживання активної потужності при роботі відповідно із номінальною та відмінною від неї напругою, Bm ;

$Q_{ном}$ та Q – те ж для реактивної потужності, яка споживається двигуном із мережі, BAp ;

c_0 – вартість $1 \kappa Bm \cdot год$ втраченої електроенергії;

$k_{з.в}$ – коефіцієнт зміни втрат, $\kappa Bm / \kappa BAp$.

Якщо двигун працює при напрузі, яка відмінна від номінальної, то термін її служби зменшується в стільки раз, у скільки раз збільшується відносний знос ізоляції. Відносний знос ізоляції D із достатньою точністю може бути обрахований по наступній емпіричній формулі:

$$D = \begin{cases} (47V^2 - 7,55V + 1)k_3^2 & \text{при } -0,2 \leq V \leq 0; \\ k_3^2 & \text{при } 0 \leq V \leq +2,0, \end{cases}$$

де k_3^2 – коефіцієнт завантаження двигуна;

V – відхилення напруги на затискачах двигуна.

Втрати від зміни терміну служби двигуна при відхиленні напруги:

$$Z_4 = \frac{c_{дв}}{B} (D - D_{ном}) t,$$

де $c_{дв}$ – вартість двигуна;

B – термін служби двигуна при номінальній напрузі.

Енергетичні показники та термін служби ламп при зміні напруги на їх затискачах можуть бути визначені із наступних виразів.

1. Лампи розжарення:

$$P = P_{ном} \cdot k_U^{1,6};$$

$$T = T_{ном} \cdot k_U^{-14},$$

де $P_{ном}$ – активна потужність, яка споживається лампою при номінальній напрузі;

$T_{ном}$ – номінальний термін служби лампи;

$k_U = \frac{U}{U_{ном}}$ – відносне значення напруги на затискачах ламп.

2. Люмінесцентні лампи, які включені по схемі із розщепленою фазою:

$$\begin{aligned} P &= 2,5P_{ном}(1 + 1,5V); \\ Q &= 2,15Q_{ном}(1,3V + 1,8V^2); \\ T &= T_{ном}(1 + V)^{-2,72}, \end{aligned}$$

де V – відхилення напруги на затискачах, в відносних одиницях.

Сумарні втрати від роботи освітлювальних приладів із напругою, відмінною від номінальної, наступні:

1. Лампи розжарення:

$$З = \sum_{i=1}^n P_{ном} (k_U^{1,6} - 1) c_0 t + \frac{(a + b)n}{T_{ном}} (k_U^{-14} - 1) t;$$

2. Люмінесцентні лампи:

$$З = \sum_{i=1}^k 3,75P_{ном} V c_0 t + \frac{(a + b)n}{T_{ном}} [(1 + V)^{-2,72} - 1] t,$$

де c_0 – вартість 1 кВт·год електроенергії;

t – час, за який визначаються втрати;

a – вартість однієї лампи, грн;

b – вартість заміни лампи, грн;

n – кількість встановлених ламп;

k – кількість двохлампових світильників.

Централізація засобів регулювання напруги обумовлює необхідність визначення економічних характеристик для груп споживачів. Економічні характеристики вузлів навантаження вираховують на основі економічних

характеристик окремих приймачів з врахуванням електричної мережі, яка їх об'єднує, тобто з врахуванням зміни втрат активної потужності в мережі.

2.3. Визначення втрат при коливанні напруги в СЕП.

Джерелами коливань напруги електричних мережах є електроприймачі (ЕП) із різкозмінними режимами роботи: електродугові сталеплавильні печі, електроприводи прокатних станів, електродугова та контактна електрозварки і т.д. Коливання напруги впливають як на самі джерела коливань, так і на інші приймачі, викликаючи електромагнітні та технологічні втрати [8, 12].

Електромагнітна складова втрат. Коливання напруги приводять до погіршення енергетичних показників роботи електричних мереж і електроустаткування. Розглянемо оцінку втрат потужності і енергії в найбільш важливих для практики випадках – в електричних мережах із електродуговими сталеплавильними печами і прокатними станами. У першому випадку коливання напруги носять випадковий характер, частота їх знаходиться в межах $0,2 - 10 \text{ Гц}$. Спектр коливань практично є суцільним. У другому випадку при стабільному процесі прокатки, наприклад, на обтискових прокатних станах, обвідна коливань напруги матиме періодичний або неперіодичний детермінований характер.

При гармонійному характері обвідної кривої втрати потужності $\Delta P_r^{(o)}$ у опорах проводів, кабелів, шин і інших струмоведучих частинах, що характеризуються активним опором r і повним опором Z (з урахуванням навантаження), можна представити у вигляді наступної формули:

$$\Delta P_r^{(o)} = 3m^2 U^2 r / Z$$

де U – діюче значення напруги мережі при відсутності коливань, кВ ;

m – індекс (глибина) модуляції.

Відносне збільшення втрат, обумовлених коливаннями напруги, порівняно з “спокійним режимом” при рівності середніх значень напруги на

шинах в обох випадках складе $\Delta P_r^{*(\partial)} < m^2$. Навіть при максимально можливих значеннях індексу модуляції ($m \approx 0,1$), що відповідає мережі з вельми невеликою потужністю короткого замикання (КЗ) (до 150 МВА), втрати в струмоведучих частинах при коливаннях напруги зростають не більше ніж на 2 %. Похибки розрахунків втрат в мережах мають велику величину, тому втратами $\Delta P_r^{*(\partial)}$ можна знехтувати.

Оцінимо втрати потужності в асинхронних і синхронних двигунах при коливаннях напруги, що носять гармонійний характер. Ковзання ротора асинхронного двигуна (АД) для обертових полів бічних частот можна виразити наступною формулою:

$$S_{\delta} = (S \pm f_{\delta}^*) / (1 \pm f_{\delta}^*),$$

де S – результуюче ковзання за наявності складових напруги з частотою мережі і бічних частот;

f_{δ}^* – відносна (порівняно з частотою мережі) частота обвідної.

Відносне значення втрат в міді ротора ΔP_{P_*} від полів бічних частот визначається по наступній формулі:

$$\Delta P_{P_*} = \frac{0,5m^2 \left[\left(r_1 + \frac{r_2}{S_H} \right)^2 + x_{\kappa}^2 \right]}{\left(r_1 + r_2 \frac{1 \pm f_{\delta}^*}{S \pm f_{\delta}^*} \right)^2 + x_{\kappa}^2 (1 \pm f_{\delta}^*)^2},$$

де r_1 , r_2 і x_{κ} – активні опори статора і ротора (приведені до вітки статора) і індуктивний опір КЗ двигуна.

З даного виразу виходить, що якщо $m \leq 0,1$, то $\Delta P_{P_*} \leq 0,02$. Обертові моменти, які обумовлені напругою бічних частот різні по тій причині, що величини їх обернено пропорційні ковзанню. При $f_{\delta}^* > S$ додатковий гальмівний момент перевищує обертовий. При незмінному моменті опору це приводить до збільшення струму промислової частоти і збільшенню втрат в мережі і електродвигуні. У разі характеристики вентилятора приводного

механізму знижується його продуктивність. Вказані явища практично позначаються лише при $m > 0,1$, що на практиці спостерігається надзвичайно рідко.

У синхронних електродвигунах напруги бічних частот обумовлюють появу полів, які обертаються відносно ротора з ковзанням при $S=1$. Діючи значення струмів статора по поздовжній і поперечній осям I_d і I_q , струмів збудження I_f і пускового контуру I_{kd} і I_{kq} для кожної з бічних частот знаходяться з наступних виразів:

$$I_d = \frac{mU_m}{2\sqrt{2}x_d} \sqrt{\frac{(1+S_{\sigma}^2 T_{d_0}'^2)(1+S_{\sigma}^2 T_{d_0}''^2)}{(1+S_{\sigma}^2 T_d'^2)(1+S_{\sigma}^2 T_d''^2)}};$$

$$I_q = \frac{mU_m}{2\sqrt{2}x_q} \sqrt{\frac{1+S_{\sigma}^2 T_{q_0}''^2}{1+S_{\sigma}^2 T_q''^2}};$$

де x_d і x_q – індуктивний опір двигуна по поздовжній і поперечній осям;

T_d' , T_d'' , T_q'' (T_{d_0}' , T_{d_0}'' , T_{q_0}'') – перехідна і зверхперехідна сталі обмотки статора при замкнутій (розімкнутій) обмотці ротора.

$$I_f = \frac{mU_m x_{afd} S_{\sigma}}{2\sqrt{2}x_d r_f} \sqrt{\frac{1+S_{\sigma}^2 T_{d\sigma}^2}{(1+S_{\sigma}^2 T_d'^2)(1+S_{\sigma}^2 T_d''^2)}};$$

$$I_{kd} = \frac{mU_m x_{ald} S_{\sigma}}{2\sqrt{2}x_d r_{kd}} \sqrt{\frac{1+S_{\sigma}^2 T_{f\sigma}}{(1+S_{\sigma}^2 T_d'^2)(1+S_{\sigma}^2 T_d''^2)}};$$

$$I_{kq} = \frac{mU_m x_{alq} S_{\sigma}}{2\sqrt{2}x_q r_{kq}} \frac{1}{\sqrt{1+S_{\sigma}^2 T_q''^2}},$$

де x_{afd} , x_{ald} , x_{alq} – опори взаємодукції між контурами статора і обмоткою збудження, поздовжнім і поперечним контурами;

r_f , r_{kd} , r_{kq} – опори обмотки збудження, обмотки по поздовжній і поперечній осям;

$T_{f\sigma}$, $T_{d\sigma}$ – сталі часу обмотки збудження і обмотки по поздовжній осі.

Для $f_{\sigma} \leq 3 \text{ Гц}$ і $m \leq 0,1$ додаткові втрати в синхронних електродвигунах при коливаннях напруги не перевершують 1 % номінальних втрат. За наявності напруг бічних частот в синхронному двигуні, як і в асинхронному, з'являються додаткові обертові моменти. При $m \leq 0,1$ величина їх дуже мала (менше 1 % номінального обертового моменту).

При коливаннях напруги, які наявні в заводських мережах, додаткові втрати виявляються невеликими: при коливаннях до 3 % збільшення втрат енергії не перевищує 2 % від їх значення за відсутності коливань напруги.

Коливання напруги негативно впливає на роботу радіо- і електроапаратів, зменшуючи їх термін служби. До електроприймачів, які чутливі до коливань напруги, відносять також обчислювальні машини, рентгенівські установки, радіостанції, телестанції і т.д. При роботі ЕОМ в режимі управління іноді виявляється достатнім одного або двох коливань з розмахом 1–1,5 %, щоб виник збій в якому-небудь осередку машини і виникли помилки в командах управління. Аналогічний збій в ЕОМ при виробництві розрахунків приводить до неправильних результатів. Тому в зарубіжній практиці в спеціальних випадках для живлення ЕОМ передбачають автономні джерела, наприклад, блоки постійного живлення. Таким чином виникає збиток, в якому переважає технологічна складова.

2.4. Визначення втрат при несиметрії напруги у СЕП

Як вже зазначалося, економічний збиток, обумовлений погіршенням якості електроенергії, має дві складові. Електромагнітна складова втрат обумовлюється недовиробітком конденсаторами, інтенсифікацією процесів старіння ізоляції електричного обладнання. Технологічна складова виникає, головним чином, в наслідок обертового моменту асинхронних двигунів і відповідного зниження продуктивності механізмів, однофазних електротермічних установок, які включені на понижену однофазну (лінійну)

напругу. Технологічний збиток, як правило, визначається з врахуванням особливостей конкретного виробництва [8, 12].

При стабільному режимі роботи, можна визначити із наступної формули:

$$\Delta P_2 = U_{ном}^2 r^2 \varepsilon_*^2 / Z_2^2,$$

де r і Z – активний і повний опори зворотної послідовності елементів системи електропостачання.

Для більшості видів електроустаткування

$$Z_2 \approx x_2,$$

де x_2 – реактивний опір зворотної послідовностей.

Скорочення терміну служби устаткування, викликане додатковим її нагрівом, обраховується по наступних виразах:

$$\Delta t_* = 0,087 \Delta \tau \text{ для ізоляції класів А, В, Е;}$$

$$\Delta t_* = 0,069 \Delta \tau \text{ для ізоляції класів F і Н.}$$

Проведені розрахунки показали, що при $\varepsilon_* = 2 \%$ відносне збільшення втрат потужності $\Delta P_2 / \Delta P_{ном}$ для асинхронних двигунів (АД) із напругою 6 (10) кВ та потужністю понад 100 кВт складає 2,4 %; для трансформаторів зв'язку (ТС) з енергосистемою, цехових трансформаторів (ЦТ) 1–4 % (найбільше значення відноситься до трансформаторів зв'язку); для синхронних двигунів потужністю вище 100 кВт – 4,2 %.

Скорочення терміну служби ізоляції відповідно $\Delta t^{АД} = 10,8 \%$; $\Delta t^{ТС} = 9,1 \%$; $\Delta t^{ЦТ} = 2,3 \%$; $\Delta t^{СД} = 16,2 \%$. Скорочення терміну служби:

$$\Delta t_* = \Delta I_{P*}.$$

Збиток визначається виразом, грн / рік:

$$Z_{нс} = \sum_{i=1}^m \left(\beta T^{(i)} \Delta P_2^{(i)} + \Delta I_{P*}^{(i)} I_{P*}^{(i)} K^{(i)} \right) \varepsilon_*^2,$$

де β – вартість 1 кВт·год електроенергії, грн / (кВт·год);

$T^{(i)}$ – час роботи i -го виду обладнання, год / рік;

$\Delta P_2^{(i)}$ – втрати, обумовлені несиметрією напруги, kWt ;

ε_*^2 – коефіцієнт несиметрії (K_{0U}), %.

Унаслідок додаткового нагріву, обумовленого несиметрією напруг, знижується реактивна потужність синхронних двигунів. Струм статора в тривалому режимі повинен обмежуватися при відносній різниці струмів фаз статора 10 % і більше для турбогенераторів. Допустимий струм ЗП становить 5–6 (10–12) % номінального струму. При $\varepsilon_* = 2$ % і відносному індуктивному опорі зворотної послідовності 0,24 струм ЗП синхронних машин складе близько 8 %, що неприпустимо для турбогенераторів (необхідно знижувати їх реактивну потужність). При несиметрії, що перевищує 3 %, необхідно зменшити повний струм і генеровану реактивну потужність синхронного електродвигуна.

Збиток, обумовлений недовиробітком реактивної потужності $3_{nc}^{(\Delta Q)}$ визначається витратами на встановлення додаткових ДРП, збільшенням втрат потужності в додатково встановлених джерелах, а також скороченням їх терміну служби та визначається із наступної формули:

$$3_{nc}^{(\Delta Q)} = E^{(BK)} K_0^{BK} \Delta Q_{nc\Sigma}^{(BK)} + E^{(CD)} K_0^{CD} \Delta Q_{nc\Sigma}^{(CD)},$$

де $E^{(BK)}$ і $E^{(CD)}$ – сумарні коефіцієнти відрахувань від капітальних затрат на додатково встановлювані потужності батарей конденсаторів і синхронних машин;

K_0^{BK} і K_0^{CD} – питомі капітальні затрати на вироблення 1 kVar потужності конденсаторами і синхронними машинами, $\text{грн} / \text{kVar}$;

$\Delta Q_{nc\Sigma}^{(BK)}$ і $\Delta Q_{nc\Sigma}^{(CD)}$ – недовироблена реактивна потужність БК і СД.

Оцінка річних втрат. Результати приведенного аналізу дозволяють представити вираз для сумарних річних втрат при несиметрії $3_{nc\Sigma}$ у вигляді наступної формули:

$$3_{nc\Sigma} = \beta \sum_{i=1}^m T^{(i)} \Delta P_2^{(i)} + \sum_{i=1}^m \Delta I_{P*}^{(i)} I_P^{(i)} K^{(i)} + 3_{ncT} + 3_{nc}^0 + 3_{nc}^{(\Delta Q)},$$

де $\Delta P_2^{(i)}$ – втрати у системі електропостачання, які обумовлені несиметрією напруг;

$\Delta I_{P*}^{(i)}$ – відносне збільшення відрахувань на реновацію від капітальних витрат $K^{(i)}$ i -го виду устаткування;

$I_P^{(i)}$ – нормативні відрахування на реновацію;

$z_{нсТ}$, $z_{нс}^0$, $z_{нс}^{(\Delta Q)}$ – технологічний збиток, збиток в освітлювальних мережах і збиток, обумовлений недовиробленням реактивної потужності.

2.5. Визначення втрат при несинусоїдальності напруги у СЕП.

Несинусоїдальність напруги виникає внаслідок роботи ЕП із нелінійними опорами. До числа таких ЕП відносяться: тиристорні перетворювачі; силові трансформатори; потужні магнітні підсилювачі і ін [8, 12].

Зменшення терміну служби:

$$\Delta t / t_c = 1 - 2^{-\frac{\Delta \tau}{\theta}},$$

де $\Delta t = t_c - t_{нс}$; $\Delta \tau = \tau_c - \tau_{нс}$; t_c і $t_{нс}$ – час роботи ізоляції при синусоїдальній і несинусоїдальній напругах;

τ_c і $\tau_{нс}$ – температура ізоляції в тривалому режимі роботи устаткування при синусоїдальній і несинусоїдальній напругах;

θ – температурна стала, рівна приросту температури.

Розкладаючи вираз $2^{-\frac{\Delta \tau}{\theta}}$ в ряд і обмежуючись двома членами розкладання, одержимо:

$$\Delta t / t_c = 0,69 \Delta \tau / \theta.$$

При $\theta = 8^0$ $\Delta t / t_c = \Delta I_{P*} / I_{P*} = 0,086 \Delta \tau$.

Старіння ізоляції внаслідок додаткового нагріву і підвищеної іонізації відбувається інтенсивніше, чим при впливі одного з цих чинників, проте сумісний їх вплив на зменшення терміну служби ізоляції ще не вивчено. Надалі вважатимемо, що взаємний вплив вказаних чинників відсутній і зменшення терміну служби ізоляції (і збільшення амортизаційних відрахувань) визначається арифметичною сумою відповідних величин, обумовлених впливом нагріву і підвищеної іонізації.

Збиток визначають за формулою:

$$Z_v^{(P)} = I^{(P)} K^{(P)}, \text{ грн / рік.},$$

Величина втрат:

$$Z_v^{(K)} = m \left(\Delta P_m - \Delta P_m^{(K)} \right), \text{ грн / рік},$$

де m – вартість 1 кВт максимальних втрат активних навантажень, $\text{грн} / (\text{кВт} \cdot \text{год})$.

Збиток в $\text{грн} / \text{рік}$ обумовлений збільшенням числа однофазних КЗ на землю в кабельних мережах $6 (10) \text{ кВ}$ підприємств, визначається по наступній формулі:

$$Z_v^{(K^{(1)})} = 87,6 \delta E_v^{(1)} E_0^{(1)} C_0 L_K,$$

де $\delta E_v^{(1)}$ і $E_0^{(1)}$ – відносне збільшення ймовірності виникнення однофазних замикань на землю і середньостатистична ймовірність пробоя кабелю за 1 рік на 100 км кабельної мережі;

C_0 – витрати на ліквідацію одного пробоя кабелю, грн ;

L_K – протяжність кабельної мережі, км .

Збиток, обумовлений збільшенням ймовірності виникнення багатофазних замикань на землю визначається витратами на ліквідацію додаткових пробоеів і додатковими втратами від перерви від електрозабезпечення споживачів:

$$Z_v^{(K^{(1,1)})} = \delta E_v^{(1,1)} E_0^{(1,1)} L_K \left(87,6 C_0^{(1,1)} + 0,013 T_{в.ср} \right),$$

де $\delta E_v^{(1,1)}$ – відносне збільшення ймовірності переходу однофазних замикань в двофазні КЗ на землю за рік на 100 км кабельної мережі;

$E_0^{(1,1)}$ – середньостатистична ймовірність багатофазних КЗ на землю за рік на 100 км кабельної мережі;

$C_0^{(1,1)}$ – витрати на ліквідацію пробойів кабелів при одному багатофазному короткому замиканні на землю, грн ;

Z_0 – питомий збиток від перерви в електропостачанні, грн / год ;

$T_{в.ср}$ – середній час відновлення живлення електроспоживачів після одного багатофазного короткого замикання на землю, год .

Тут $\delta E_v^{(1,1)}$ визначається по наступній формулі:

$$\delta E_v^{(1,1)} = 21 \sum_{v=2}^n I_{v*3}^2 ,$$

де $I_{v*3} = I_v^{(1,1)} / I_v^{(1)}$ – відносне значення гармоніки струму порядку τ .

2.6 Висновки до розділу

1. Розглянуто питання взаємного впливу ПЯЕЕ при розрахунку економічних втрат.

2. Розглянуто питання визначення втрат при відхилення напруги у СЕП, визначення втрат при коливанні напруги в СЕП, визначення втрат при несиметрії напруги у СЕП, визначення втрат при несинусоїдальності напруги у СЕП.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Структура комп'ютерного комплексу

Комп'ютерний комплекс розміщений на кафедрі Електричної інженерії в лабораторії «Електропостачання».

Приведемо особливості комп'ютерного комплексу, наявність яких є надзвичайно важливими:

- можливість проведення енергетичних досліджень у трифазних мережах;
- можливість проведення енергетичних досліджень у однофазних мережах;
- можливість підключення до будь-якої електронно-обчислювальної машини;
- можливість функціонування даного комп'ютерного комплексу не лише як при 14-розрядному АЦП, так при інших;

Для детальнішого аналізу роботи даного приладу розглянемо його структуру, яка зображена на рис. 3.1.

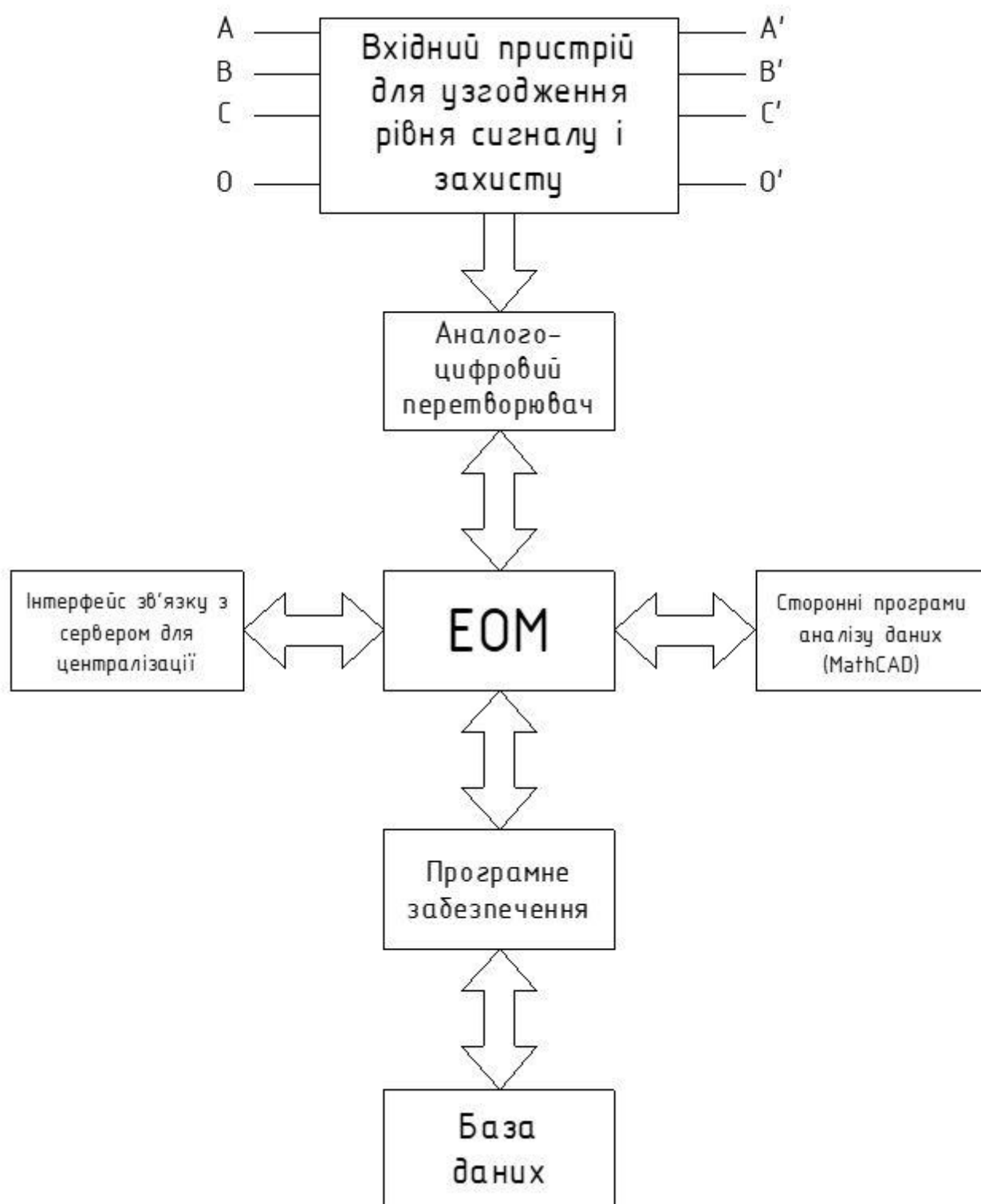


Рисунок 3.1 - Структурна схема комплексу.

Даний комплекс складається із таких основних структурних елементів:

1. Вхідний пристрій (блок) для узгодження рівня сигналу і захисту. Він призначений для перетворення величин струмів і напруг у величини, які “розуміє” аналого-цифровий перетворювач (АЦП) за рахунок підключених до даного блоку амперметрів для безрозривного вимірювання струму. Детальніше принцип роботи описано в пункті 3.2.

2. Аналого-цифровий перетворювач. Детальніше принцип роботи і технічні характеристики АЦП описано в пункті 3.3.

3. ЕОМ (комп'ютер). “Серце” даного комп'ютерного комплексу, в якому відбувається відображення в режимі реального часу величин і графіків ПЯЕЕ на екрані монітора, опрацювання отриманих з АЦП даних та їх збереження у базі даних.

4. Програмне забезпечення. “Мозок” даного комп'ютерного комплексу, який на програмному рівні дозволяє за вказаною програмою обробляти дані по заданій методиці визначення ПЯЕЕ. Детальніше опис програмного забезпечення описаний у пунктах 3.4.

5. База даних. Призначена для збереження отриманих даних із АЦП у вигляді окремого файлу, запису результатів оброблення цих даних у окремий файл з метою подальшого аналізу по напрямку визначення ЯЕЕ за допомогою даного комп'ютерного комплексу, а також аналізу даних у інших програмах.

3.2. Принципова електрична схема, її опис.

Принципова електрична схема реалізована у вигляді блоку узгодження рівнів сигналу і захисту (БУРСЗ). БУРСЗ входить в склад комп'ютерного комплексу. Він виконує функції вимірювання струму і напруг, їх форм, а також захисту АЦП від перевантаження при збільшенні напруги і струму вище допустимих меж (рис. 3.2). БУРСЗ складається з трансформаторів струму (ТС), які є складовою частиною струмовимірних кліщів (амперметрів для безрозривного вимірювання струму). Вони перетворюють великі значення струму в значення, які лежать в діапазоні вимірювання АЦП. Струм, який проходить по лінійному проводу А трансформується з допомогою трансформаторів струму ТС1 і через резистор R1 подається на вхід АЦП. Після резистора R1 стоїть захисний стабілітрон, який включений між загальним проводом і сигнальним. Він обмежує величину напруги при збільшенні величини струму вище допустимого, а резистор R1 обмежує величину даного струму. При збільшенні струму пропорційно зростає напруга. Коли величина струму починає перевищувати верхню граничну межу, відкривається стабілітрон VD1 і починає обмежувати рівень напруги на рівні стабілізації. При цьому якщо струм продовжує зростати, продовжує зростати і напруга – вона буде спадати на резисторі R1 і не поступить на вхід АЦП. Аналогічним чином відбувається обмеження струму і напруги в фазах В, С і N. Вимірювати струм в нульовому проводі необхідно для визначення перекосу фаз, для визначення можливих замикань нульового проводу на землю, що може призвести до розкрадань електроенергії. Для вимірювання напруги на фазах використовують подільники напруги R4 і R5. Паралельно до виходу подільника напруги включається стабілітрон для захисту від перенапружень. Тим самим захищається АЦП від виходу з ладу. Також БУРСЗ має включені на кожен із фаз контрольні індикатори, які являють собою послідовно включені світлодіод і резистор. Вони дають змогу візуально переконатись про правильність підключення установки. Конструктивна установка виконана у вигляді приладу, який підключається до

АЦП спеціальним шнуром. Схема зібрана на друкованій платі, розміщеній в пластмасовому корпусі.

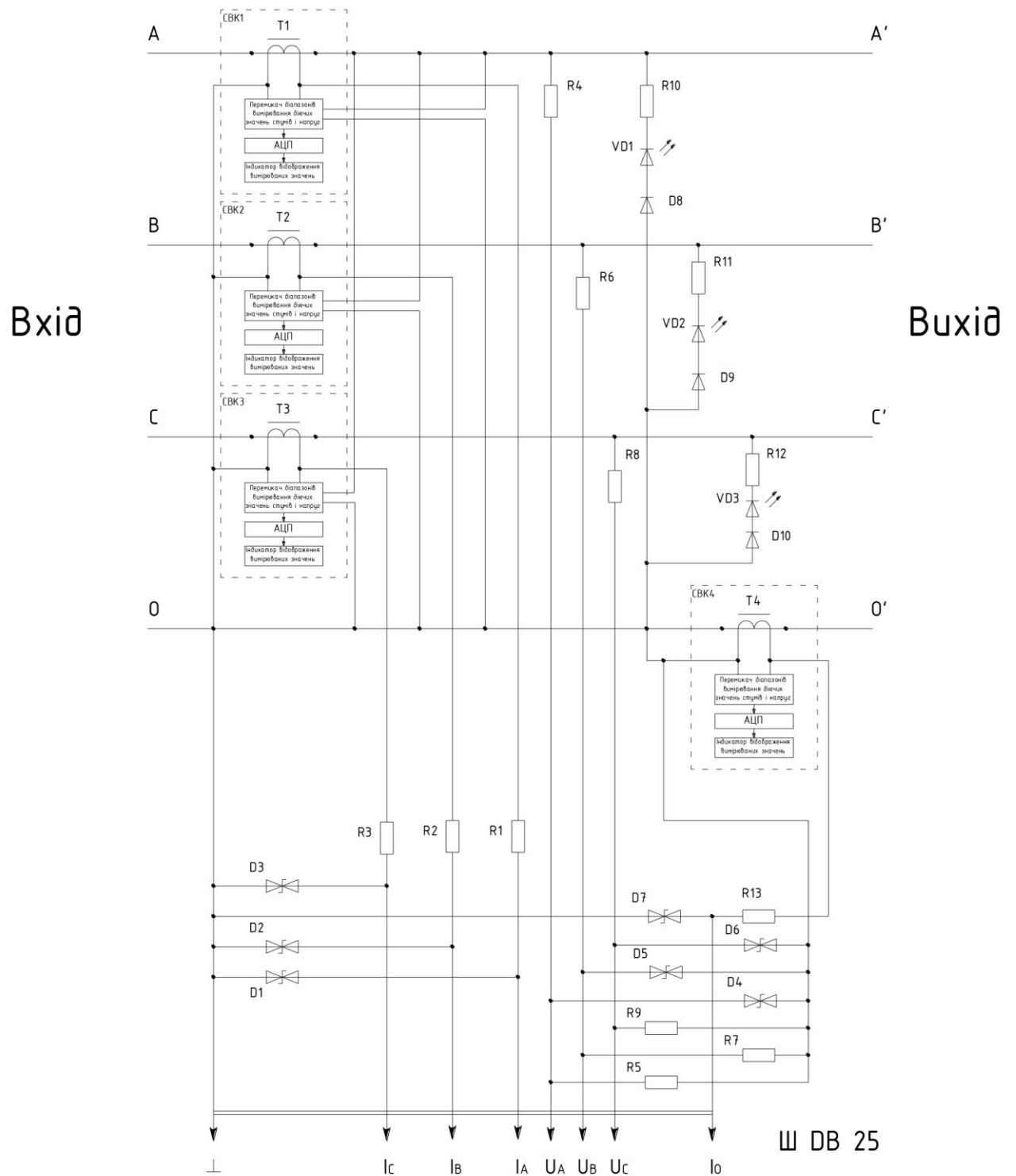


Рисунок 3.2 - Принципова електрична схема.

3.3. АЦП, який використовується в даній установці

Модуль АЦП, що використовується в даному комп'ютерному комплексі, дає змогу:

- вимірювати значення струму (напруги) по 32 каналам з загальним проводом в довільному порядку із переключенням коефіцієнта підсилення за допомогою джемперів із гальванічною розв'язкою від електричних кіл комп'ютера;
- робити запуск АЦП по сигналах встановленого на платі таймера по заздалегідь запрограмованому номері каналу.

3.4. Блок-схема роботи програмного забезпечення

Для спрощення роботи з програмою і чіткого представлення принципу її роботи складається блок-схема.

Блок-схема роботи програмного забезпечення комп'ютерного комплексу для дослідження якості електричної енергії і знімання графіків електричних навантажень, складається з таких основних блоків (рис. 3.3.):

- блок *A* призначений для введення дати початку і кінця дослідження, часу початку і кінця дослідження, і тривалості пауз при періодичному дослідженні;
- у блоці *B* зчитується системна дата і час; вони порівнюються з введеними датою і часом початку дослідження. Якщо вони співпадуть, програма перейде до блоку *B*;
- у блоці *B* вибирається вітка виконання програми у залежності від вибраного алгоритму і режиму дослідження;
- у блоці *Г* виконується послідовне неперервне опитування каналів. При цьому вихідними даними є миттєві значення напруг на трьох фазах, струми у трьох фазах і струм нульового проводу. Ці дані використовують для побудови графіків електричних навантажень при малій тривалості досліджень;

– у блоці D програма опитує пакетно кожен із каналів на протязі двох періодів і записує у базу даних. Ці дані використовуються для аналізу якості електричної енергії. По них можна встановити з великою точністю максимальне діюче значення напруги відхилення від синусоїдальності і для аналізу вищих гармонік;

– блок E і C аналогічні до G і D , але використовуються при довготривалих вимірах.

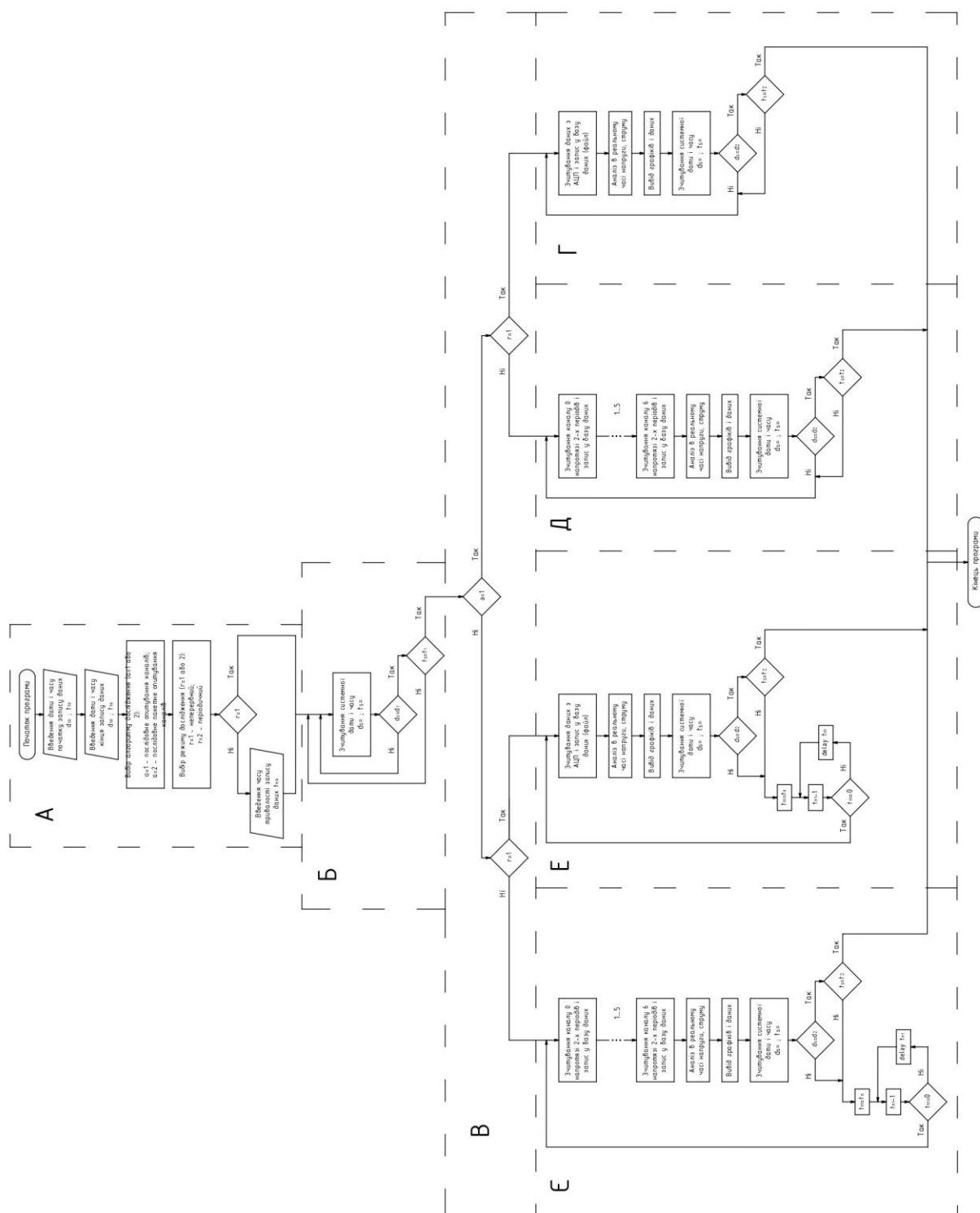


Рисунок 3.3 - Блок-схема роботи програмного забезпечення.

3.5. Зняття результатів на протязі заданого часу.

Проводились дослідження енергогосподарства кафедри Електричної інженерії. У щитовій було встановлено розроблений комп'ютерний комплекс, за допомогою якого приводились записи форми кривої напруги і струму. Отримані значення занесені у таблицю 3.1. На основі цих даних побудовані фактичні значення напруги в мережі, відхилення напруги, а також графік струмів у трьох фазах.

Таблиця 3.1 - Отримані дослідним шляхом значення напруги

Значення синуса	Значення в радіанах	Значення в градусах	Отримані дослідним шляхом дані	Опрацьовані дослідні дані	Відхилення напруги
0	0	0	-0,04	-3,77542	0
47,7157	0,154035	8,78	0,17984	16,97428	-30,7414
71,21972	0,231053	13,17	0,38875	36,69234	-34,5274
94,30149	0,30807	17,56	0,63375	59,81677	-34,4847
116,8242	0,385088	21,95	1,01234	95,55015	-21,274
138,6542	0,462105	26,34	1,24875	117,8638	-20,7904
159,6622	0,539123	30,73	1,46234	138,0236	-21,6386
179,7237	0,61614	35,12	1,66	156,6798	-23,0438
198,7195	0,693158	39,51	1,85109	174,7159	-24,0036
216,5372	0,770175	43,9	2,055	193,9621	-22,5752
233,0711	0,847193	48,29	2,27984	215,1837	-17,8874
248,2232	0,924211	52,68	2,46984	233,1169	-15,1063
261,9036	1,001228	57,07	2,64	249,1775	-12,7261
274,0313	1,078246	61,46	2,8	264,2792	-9,75208

Продовження таблиці 3.1.

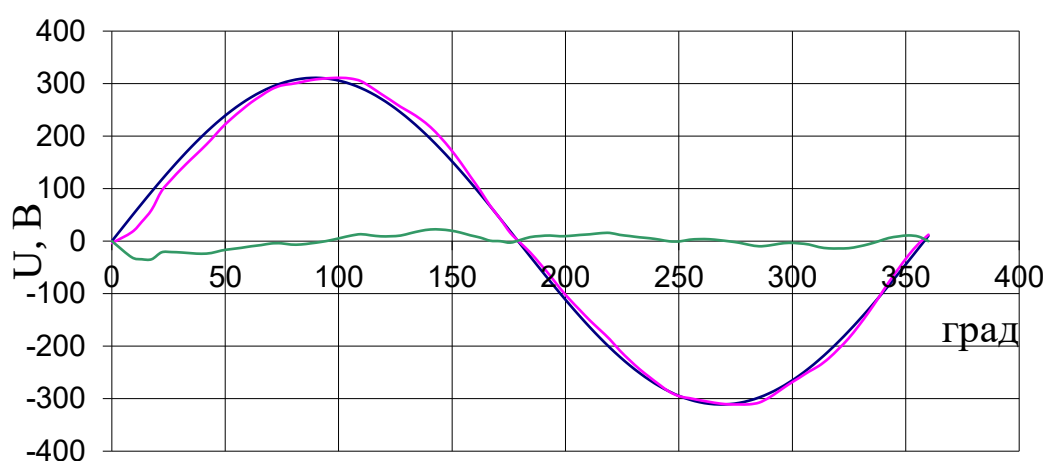
284,5343	1,155263	65,85	2,935	277,0212	-7,51304
293,3503	1,232281	70,24	3,06109	288,9223	-4,42803
300,4272	1,309298	74,63	3,13984	296,3552	-4,07202
305,7228	1,386316	79,02	3,17	299,2018	-6,52103
309,206	1,463333	83,41	3,20875	302,8593	-6,34671
310,8559	1,540351	87,8	3,24984	306,7376	-4,11832
310,6628	1,617368	92,19	3,275	309,1123	-1,5505
308,6279	1,694386	96,58	3,28984	310,513	1,885118
304,7631	1,771404	100,97	3,29484	310,9849	6,221764
299,0915	1,848421	105,36	3,27984	309,5691	10,47757
291,6467	1,925439	109,75	3,23	304,8649	13,21824
282,4728	2,002456	114,14	3,11	293,5387	11,06593
271,6241	2,079474	118,53	2,975	280,7967	9,172549
259,1651	2,156491	122,92	2,84484	268,5115	9,346396
245,1695	2,233509	127,31	2,71047	255,8289	10,65941
229,7203	2,310526	131,7	2,59484	244,9151	15,19476
212,9092	2,387544	136,09	2,46234	232,409	19,49979
194,8359	2,464561	140,48	2,3	217,0865	22,25064
175,6073	2,541579	144,87	2,095	197,7375	22,13015
155,3377	2,618596	149,26	1,85984	175,5418	20,20414
134,147	2,695614	153,65	1,595	150,5448	16,39772
112,1611	2,772632	158,04	1,30609	123,2759	11,11477
89,51017	2,849649	162,43	1,01984	96,25804	6,747867
66,32856	2,926667	166,82	0,71109	67,11654	0,787975
42,7537	3,003684	171,21	0,45234	42,69431	-0,0594
18,92537	3,080702	175,6	0,17	16,04552	-2,87985
-5,01517	3,157719	179,99	-0,03016	-2,84666	2,168504

Продовження таблиці 3.1.

-28,926	3,234737	184,38	-0,22562	-21,2952	7,630733
-52,6653	3,311754	188,77	-0,45516	-42,9605	9,70481
-76,0924	3,388772	193,16	-0,69266	-65,377	10,71534
-99,0683	3,465789	197,55	-0,95062	-89,7247	9,343608
-121,457	3,542807	201,94	-1,18016	-111,39	10,06696
-143,125	3,619825	206,33	-1,39125	-131,314	11,81163
-163,945	3,696842	210,72	-1,59891	-150,914	13,03148
-183,793	3,77386	215,11	-1,78766	-168,729	15,06417
-202,552	3,850877	219,5	-1,98016	-186,898	15,65325
-220,109	3,927895	223,89	-2,205	-208,12	11,98902
-236,361	4,004912	228,28	-2,40125	-226,643	9,718297
-251,212	4,08193	232,67	-2,58453	-243,942	7,270418
-264,574	4,158947	237,06	-2,74391	-258,985	5,588971
-276,367	4,235965	241,45	-2,89766	-273,497	2,870315
-286,522	4,312982	245,84	-3,03953	-286,887	-0,36556
-294,978	4,39	250,23	-3,13063	-295,486	-0,50821
-301,685	4,467018	254,62	-3,16766	-298,981	2,703709
-306,603	4,544035	259,01	-3,20766	-302,756	3,846682
-309,704	4,621053	263,4	-3,2425	-306,045	3,658905
-310,968	4,69807	267,79	-3,275	-309,112	1,855827
-310,389	4,775088	272,18	-3,2925	-310,764	-0,37513
-307,969	4,852105	276,57	-3,295	-311	-3,03052
-303,724	4,929123	280,96	-3,2925	-310,764	-7,03988
-297,678	5,00614	285,35	-3,2575	-307,461	-9,78241
-289,867	5,083158	289,74	-3,15813	-298,081	-8,21422
-280,338	5,160175	294,13	-3,02391	-285,413	-5,07526
-269,146	5,237193	298,52	-2,88625	-272,42	-3,27366

Продовження таблиці 3.1.

-256,359	5,314211	302,91	-2,76125	-260,622	-4,2627
-242,052	5,391228	307,3	-2,63203	-248,425	-6,37332
-226,31	5,468246	311,69	-2,51766	-237,63	-11,3206
-209,226	5,545263	316,08	-2,3625	-222,986	-13,7597
-190,902	5,622281	320,47	-2,16953	-204,772	-13,8705
-171,445	5,699298	324,86	-1,95891	-184,893	-13,4472
-150,973	5,776316	329,25	-1,7075	-161,163	-10,1904
-129,605	5,853333	333,64	-1,43453	-135,399	-5,79376
-107,469	5,930351	338,03	-1,14063	-107,659	-0,19
-84,6956	6,007368	342,42	-0,83453	-78,7675	5,9281
-61,4202	6,084386	346,81	-0,55516	-52,399	9,021139
-37,7806	6,161404	351,2	-0,285	-26,8998	10,88074
-13,917	6,238421	355,59	-0,05516	-5,2063	8,710734
10,1381	6,315789	360	0,13	12,27011	0



— Номінальне значення

— Фактичне значення

— Відхилення напруги

Рисунок 3.4 - Графік форми кривої фактичного значення напруги і відхилення напруги

Аналогічним чином будуюмо фактичні значення струмів у трьох фазах (рис. 3.5).

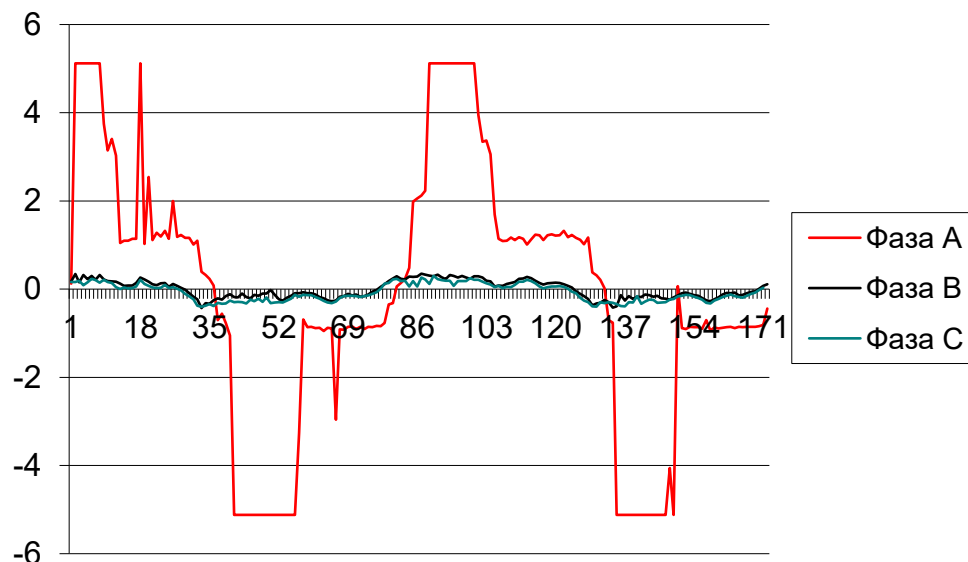


Рисунок 3.5 - Графік фактичного значення струмів у трьох фазах.

3.6. Аналіз отриманих даних.

Як видно із графіка, напруга в мережі несинусоїдальна. Це спричиняється несинусоїдальним споживанням струму, що видно на графіку 3.5. Також із даного графіка видно, що навантаження на фази є нерівномірним. Потужні споживачі сконцентровані на одній фазі – фаза А. Було проаналізовано характер навантаження. Як виявилось, основним навантаженням є комп'ютерна техніка. Як відомо, на вході в комп'ютер стоять імпульсні блоки живлення, які споживають з мережі імпульсний струм. Було складено модель імпульсного блоку живлення, яка приведена на рисунку 3.6. Моделювання процесу роботи показало, що з мережі дійсно споживається імпульсний струм, форма якого приведена на осцилограмі рисунка 3.7.

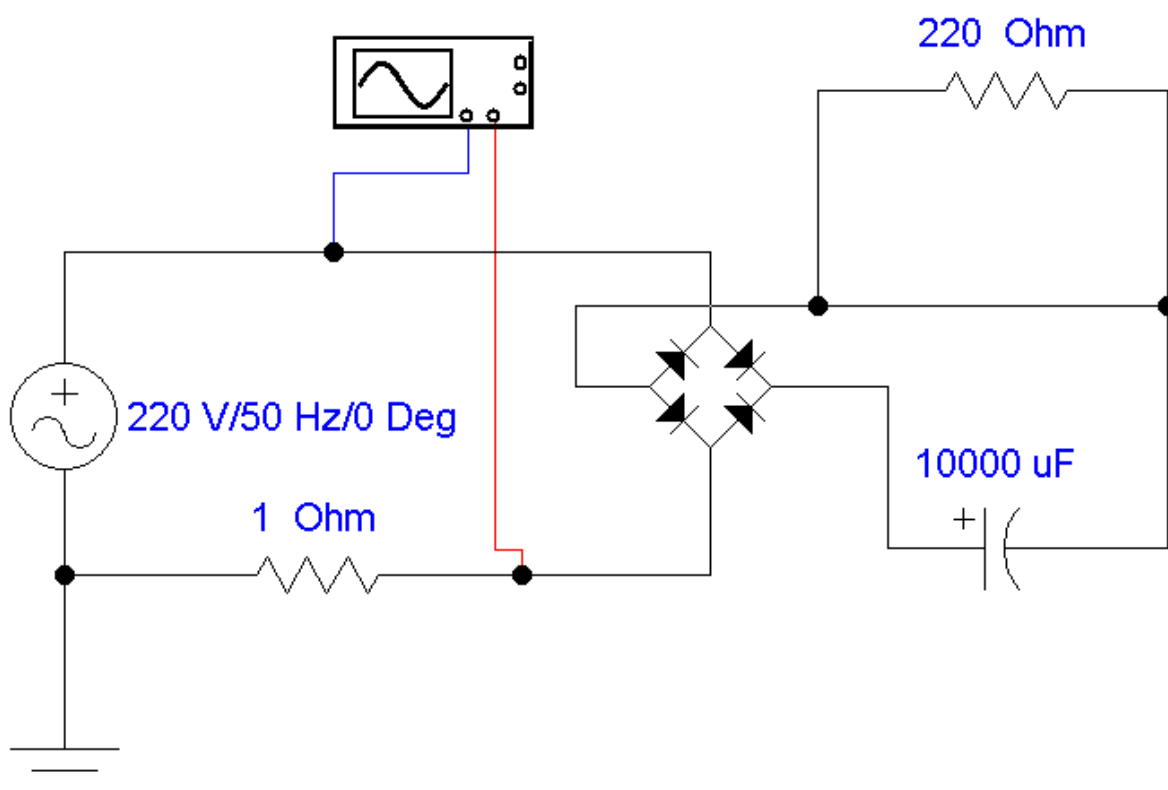


Рисунок 3.6 - Модель імпульсного блоку живлення

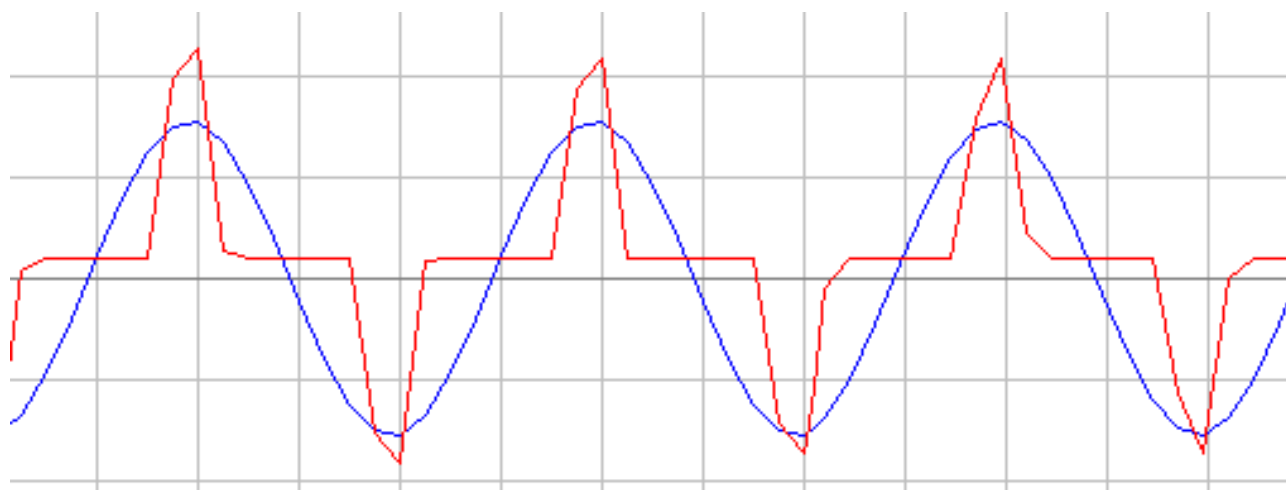


Рисунок 3.7 - Форма імпульсного струму.

3.7. Заходи щодо покращення якості електричної енергії

- 1) Розподілити рівномірно навантаження по трьох фазах;
- 2) Обладнати комп'ютерний клас блоками безперебійного живлення, які мають вбудований коректор коефіцієнта потужності, які споживають з мережі синусоїдальний струм.

3.8 Висновки до розділу

1. Запропонована структура комп'ютерного комплексу. Його особливостями є: можливість проведення енергетичних досліджень як у однофазних, так і трифазних мережах; можливість підключення до будь-якого комп'ютеру.

2. Запропонована принципова електрична схема та проведено її опис.

3. Розглянуто АЦП, який використовується в даній установці.

4. Запропонована блок-схема роботи програмного забезпечення.

5. Проведено зняття результатів на протязі заданого часу. Побудовано графік форми кривої фактичного значення напруги і відхилення напруги; графік фактичного значення струмів у трьох фазах.

6. Проведено аналіз отриманих даних. Як виявилось, основним навантаженням була комп'ютерна техніка, на вході якої стоять імпульсні блоки живлення, які споживають з мережі імпульсний струм. Запропоновано модель імпульсного блоку живлення та проведено моделювання процесу роботи, яке показало, що з мережі дійсно споживається імпульсний струм. Це підтверджується відповідною осцилограмою.

7. Запропоновані заходи щодо покращення якості електричної енергії:
- розподілити рівномірно навантаження по трьох фазах;
 - обладнати комп'ютерний клас блоками безперебійного живлення, які мають вбудований коректор коефіцієнта потужності, які споживають з мережі синусоїдальний струм.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Встановлення заземлень на ПЛ

ПЛ понад 1000 В слід заземлювати в усіх тих РП та біля секціонуючих комутаційних апаратів, де вимкнена лінія.

Допускається:

- ПЛ 35 кВ та вище з відгалуженнями не заземлювати на підстанціях, відімкнених до цих відгалужень, за умови, що ПЛ заземлена з обох боків, а на цих підстанціях заземлення встановлено за вимкненими лінійними роз'єднувачами;

- ПЛ 6, 10 та 20 кВ заземлювати лише в одному РП або біля одного секціонуючого апарата, або на найближчій для РП чи до секціонуючого апарата опорі. В решті РП цієї напруги та біля секціонуючих апаратів, де ПЛ вимкнена, допускається її не заземлювати за умови, що на ПЛ будуть встановлені заземлення між робочим місцем і цими РП чи секціонуючими апаратами. На ПЛ зазначені заземлення слід встановлювати на опорах, що мають заземлювальні пристрої;

- на ПЛ до 1000 В достатньо встановити заземлення тільки на робочому місці.

Додатково до заземлень на робочому місці кожної бригади слід заземлювати проводи усіх фаз, а за необхідності - і троси.

На ПЛ 35 кВ і вище у разі виконання роботи на проводі однієї фази або по чергово на проводах кожної фази дозволяється заземлювати на робочому місці провід тільки тієї фази, на якій виконується робота. В цьому разі забороняється наближатися до решти проводів незаземлених фаз і тросів на відстань, меншу за зазначену в правилах.

Для проводу, який лежить у металевих розкочувальних роликах або підтримувальних затискачах, достатньо заземлити обидві цих роликів або затискачі. У разі природного металевого контакту між обіймою ролика або

затискачем та конструкцією металевої опори, а також заземленою арматурою залізобетонної опори додаткове заземлення ролика чи затискача не вимагається.

У разі монтажу проводів в анкерному прольоті, а також після з'єднання петель на анкерних опорах змонтованої ділянки ПЛ проводи (троси) слід заземлити на початковій анкерній опорі та на одній з останніх проміжних опор.

Забороняється заземлювати проводи (троси) на кінцевій анкерній опорі змонтованого анкерного прольоту, а також змонтованої ділянки ПЛ для уникнення переходу потенціалу від грозових розрядів та інших перенапруг з проводів (тросів) готової ділянки ПЛ на наступну ділянку, що монтується.

На ПЛ з розщепленими проводами допускається в кожній фазі заземлювати тільки один провід; у разі наявності ізолюваних розпірок заземлювати необхідно всі проводи фази.

На одноколових ПЛ заземлення на робочому місці необхідно встановлювати на опорі, на якій виконується робота, або на сусідній опорі. Допускається встановлювати заземлення з обох боків ділянки ПЛ, на якій працює бригада, за умови, що відстань між заземленнями не перевищує 2 км.

У разі виконання роботи на ізолюваному від опори грозозахисному тросі або на конструкціях опори, коли вимагається наближення до цього тросу на відстань менше 1 м, його слід заземлювати. Заземлення слід встановити в бік прольоту, в якому трос ізолювано, або у прольоті, в якому виконується робота.

Якщо на цьому тросі передбачено плавлення ожеледі, перед початком роботи трос слід вимкнути та заземлити з тих боків, звідси на нього може бути подано напругу.

Переносні заземлення слід приєднувати: на металевих опорах до їх елементів, на залізобетонних та дерев'яних опорах із заземлювальними спусками – до цих спусків після перевірки їхньої цілісності. На залізобетонних опорах, що не мають заземлювальних спусків, дозволяється приєднувати переносні заземлення до арматури або до металевих траверс, які мають металевий зв'язок з арматурою.

В електромережах до 1000 В із заземленою нейтралю за наявності повторного заземлення нульового проводу допускається приєднувати переносні заземлення до цього нульового проводу.

Місця приєднання переносних заземлень до заземлювальних провідників або до конструкцій слід очистити.

На дерев'яних опорах, що не мають заземлювальних спусків переносне заземлення на робочому місці можна приєднувати до заземлювача, заглибленого вертикально в ґрунт не менше ніж 0,5 м.

Забороняється встановлювати заземлювачі у випадкові навали ґрунту.

На ПЛ до 1000 В для робіт, що виконуються з опор або з телескопічної вишки без ізолюваної секції, заземлення слід встановлювати як на проводі лінії, яка ремонтується, так і на всі інші підвішені на цих опорах неізолювані проводи, в тому числі на проводи ліній радіотрансляції і телемеханіки.

На ПЛ, вимкнених для виведення в ремонт, встановлювати, а потім знімати переносні заземлення і вмикати розміщені на опорах заземлювальні ножі повинні два працівники зі складу оперативних або оперативно-виробничих працівників: один з групою IV (на ПЛ понад 1000 В) або з групою III (на ПЛ до 1000 В), інший - з групою III. Допускається залучати для виконання цих робіт другого працівника з групою III зі складу виробничих працівників, а на ПЛ, що живлять споживачів, - зі складу працівників підприємств-споживачів.

Вимикати заземлювальні ножі дозволяється одному працівнику з групою III зі складу оперативних або оперативно-виробничих працівників.

На робочих місцях ПЛ встановлювати переносні заземлення може керівник робіт з членами бригади, який має групу III. Знімати ці переносні заземлення можуть за розпорядженням керівника робіт два члени бригади з групою III.

На ПЛ у разі перевірки відсутності напруги, встановлення і знімання заземлень один з двох працівників повинен перебувати на землі і вести спостереження за іншим.

4.2 Перша допомога при електротравмах

Необхідні заходи першої допомоги — підтримання основних життєвих функцій потерпілого до прибуття медперсоналу. Після того, як потерпілого звільнили від дії електричного струму його кладуть на спину та з'ясовують чи є дихання і пульс. У разі необхідності проведення штучного дихання та масажу серця:

- Якщо допомогу надає одна особа, то темп реанімаційних заходів за хвилину має складати 4 цикли по два вдихання та 15 натискань на грудну клітину. За хвилину потрібно зробити не менше 60 натискань та 8 вдихань.
- Якщо допомогу надають дві особи, то співвідношення дихання-масаж становить 1:5, тобто після одного глибокого вдування роблять п'ять натискань на грудну клітку. За хвилину потрібно зробити не менше 60 натискань та 15 вдихань.
- Дітям від 1 до 12 років масаж серця роблять однією рукою, у хвилину від 70 до 100 натискань, а дітям до 1 року — від 100 до 120 натискань у хвилину двома пальцями (вказівним та середнім) на середину грудини або великими пальцями обох рук.
- Штучне дихання та зовнішній масаж серця необхідно робити до відновлення самостійного дихання та діяльності серця в потерпілого або до його передачі медичному персоналу.

Якщо немає можливості викликати медичний персонал, необхідно забезпечити транспортування потерпілого до найближчої лікарні. Перевозити людину можна лише за умови стабільного пульсу та дихання.

Пам'ятайте! При звільненні від дії електричного струму і наданні першої допомоги потерпілому дорога кожна хвилина.

4.3 Причини електротравматизму

Основними причинами електротравматизму є:

- недостатня навченість, несвоєчасна перевірка знань та присвоєння груп кваліфікації за технікою безпеки персоналу, який обслуговує електроустановки;
- порушення правил влаштування, технічної експлуатації та техніки безпеки електроустановок;
- неправильна організація праці;
- неправильне розташування пускової апаратури та розподільчих пристроїв, захаращеність підходів до них;
- порушення правил виконання робіт в охоронних зонах ЛЕП, електричних кабелів та ліній зв'язку;
- несправність ізоляції, через що металеві не струмопровідні частини обладнання виявляються під напругою;
- обрив заземлювального провідника;
- використання електрозахисних пристроїв, які не відповідають умовам виконання робіт;
- виконання електромонтажних та ремонтних робіт під напругою;
- застосування проводів та кабелів, які не відповідають умовам виробництва та використовуваних напругі;
- низька якість з'єднань та ремонту;
- недооцінка небезпеки струму, який проходить через тіло людини та напруги, впливу якої підлягає людина, коли її ноги знаходяться на ділянці з точками різного потенціалу („крокова напруга”);
- ремонт обірваного нульового провідника повітряної лінії при невимкненій мережі і приєднаному однофазному навантаженні;

- живлення декількох споживачів від загального пускового пристрою з захистом запобіжниками, розрахованими на вимкнення найбільш потужного з них або від однієї групи розподільчої шафи;
- недооцінка необхідності вимкнення електроустановки (зняття напруги) в неробочі періоди;
- виконання робіт без індивідуальних засобів електрозахисту або використання захисних засобів, які не пройшли своєчасного випробування;
- невиконання періодичних випробувань, зокрема перевірок опору ізоляції (електромереж, обмоток електродвигунів, котушок комутаційної апаратури, реле) та опорів заземлювальних пристроїв;
- користування електроустановками, опір ізоляції яких не перевищує нормативних значень;
- використання електроустановок кустарного виготовлення, виготовлених з порушенням вимог правил електробезпеки (зокрема, розподільчими та пусковими пристроями, електропечами);
- некваліфікований інструктаж робітників, які використовують ручні електричні машини;
- відсутність контролю за діями працівників з боку виконавців робіт;
- відсутність маркування, запобіжних плакатів, блокувань, тимчасових огорожень місць електротехнічних робіт.

Ці причини можна згрупувати за наступними чинниками:

- дотик до струмоведучих частин під напругою внаслідок недотримання правил техніки безпеки, дефектів конструкції та монтажу електрообладнання;
- дотик до неструмоведучих частин, які опинились під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, перехреснування проводів;
- помилкове подання напруги в установку, де працюють люди;
- відсутність надійних захисних пристроїв.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведена класифікація порушень якості електроенергії, причини їх виникнення та наслідки.
2. Розглянуті засоби визначення якості електричної енергії.
3. Розглянуті методики визначення показників ЯЕЕ: відхилення напруги, коливання напруги, несинусоїдальності напруги, несиметрії напруги, відхилення і коливання частоти.
4. Розглянуто питання взаємного впливу ПЯЕЕ при розрахунку економічних втрат.
5. Розглянуто питання визначення втрат при відхилення напруги у СЕП, визначення втрат при коливанні напруги в СЕП, визначення втрат при несиметрії напруги у СЕП, визначення втрат при несинусоїдальності напруги у СЕП.
6. Запропонована структура комп'ютерного комплексу. Його особливостями є: можливість проведення енергетичних досліджень як у однофазних, так і трифазних мережах; можливість підключення до будь-якого комп'ютеру.
7. Запропонована принципова електрична схема та проведено її опис.
8. Розглянуто АЦП, який використовується в даній установці.
9. Запропонована блок-схема роботи програмного забезпечення.
10. Проведено зняття результатів на протязі заданого часу. Побудовано графік форми кривої фактичного значення напруги і відхилення напруги; графік фактичного значення струмів у трьох фазах.
11. Проведено аналіз отриманих даних. Як виявилось, основним навантаженням була комп'ютерна техніка, на вході якої стоять імпульсні блоки живлення, які споживають з мережі імпульсний струм. Запропоновано модель імпульсного блоку живлення та проведено моделювання процесу роботи, яке показало, що з мережі дійсно споживається імпульсний струм. Це підтверджується відповідною осцилограмою.

12. Запропоновані заходи щодо покращення якості електричної енергії:
- розподілити рівномірно навантаження по трьох фазах;
 - обладнати комп'ютерний клас блоками безперебійного живлення, які мають вбудований коректор коефіцієнта потужності, які споживають з мережі синусоїдальний струм.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Голуб'юк М. С. Автоматизований комплекс визначення показників якості електроенергії / М. С. Голуб'юк, А. З. Стасів, І. М. Сисак // Тези XIII МНПК „Актуальні задачі сучасних технологій“, 11-12 грудня 2024 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2024. — С. 300. — (Електротехніка та енергозбереження).
2. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. Основи електроенергетики та електропостачання: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. - Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. – 436 с. ISBN 978-966-553-833-2
3. Бурбело, М. Й. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків : навчальний посібник / М. Й. Бурбело, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 204 с. ISBN 978-966-641-450-5
4. Сисак І.М. Електропостачання промислових і муніципальних об'єктів [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 1748): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2011. – Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/index.php>.
5. Сегеда М.С. Електричні мережі та системи: Підручник. – 2-ге вид. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. – 488 с.
6. Романюк Ю.Ф. Електричні системи та мережі: Навч. посіб. – К.: Знання, 2007. – 292 с. – (Вища освіта XXI століття).
7. Сисак І.М. Електричні системи та мережі [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 1747): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2011.
8. Суржиков М. В. Підвищення точності визначення показників якості електричної енергії. Національний технічний університет України «Київський

політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, кафедра електропостачання. 2018, 114 ст.

9. Бачинський О., Пліс Я., Шандрук Ю. Методи та засоби підвищення якості електроенергії в розподільчих мережах низької і середньої напруги // 36. наук. праць / Терн. нац. тех. універ. ім. І.Пулюя. Тернопіль. С. 52.

10. Куницький О. М. Моніторинг якості електричної енергії / О. М. Куницький, С. С. Чуйко, В. В. Миколишин // Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 28-29 листопада 2018 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2018. — Том 3. — С. 44–45. — (Електротехніка та енергозбереження).

11. Показники якості надання послуг у сферах електропостачання і централізованого водопостачання та водовідведення у 1-му півріччі 2022 року. НКРЕКП, 2022, 32 ст.

12. Очеретна, А. О. Діагностика та контроль показників якості електроенергії у мережах низької та середньої напруги : дипломна робота ... бакалавра : 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Очеретна Анастасія Олександрівна. - Київ, 2024. - 71 с.

13. Бунько В. Я. Аналіз дослідження та визначення показників якості електричної енергії з переважно індуктивним навантаженням / В. Я. Бунько // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія : Технічні науки. - 2018. - Т. 29(68), № 1(2). - С. 67-71.

14. Бунько, В. Я. (2016). Питання якості електричної енергії в розподільних пристроях систем електропостачання. Молодий вчений, (1 (3)), 99-103.

15. Коваль В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 51 с.

16. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

17. Гурик О.Я. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 4656): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2017. – Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/index.php>.