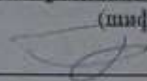


МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Аналіз втрат електричної енергії, що зумовлені використанням перетворювачів частоти, в мережах Товариства з обмеженою відповідальністю «Вінницький комбінат хлібопродуктів № 2»»

Виконав: студент 2-го курсу, групи ЕМ-22м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)



Белза Д. І.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ЕСЕЕМ



Кравець О. М.

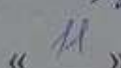
(прізвище та ініціали)

*Олександр
Миколайов*

«08» 12 2023 р.

Опонент:

к.т.н., доц., доцент каф. ЕСС Тепло В.В.



(прізвище та ініціали)

«М» 12 2023 р.



Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.

(прізвище та ініціали)



«8» жовтня 2023 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

д.т.н, професор

19 Вересня

М. Й. Бурбело

2023 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
БЕЛЗІ ДАНИЛУ ІВАНОВИЧУ
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Аналіз втрат електричної енергії, що зумовлені використанням перетворювачів частоти, в мережах Товариства з обмеженою відповідальністю «Вінницький комбінат хлібопродуктів № 2»

керівник роботи Кравець Олександр Миколайович к.т.н., доцент каф. ЕСЕЕМ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

МКР затверджені наказом по ВНТУ від 18 вересня 2023 року № 247

2. Строк подання студентом роботи “ 5 ” грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи Генплан підприємства, відомості про особливості технологічних процесів, відомості про електричні навантаження підприємства; відомості про джерела живлення та перспективу розвитку підприємства; відомості про силові електронні перетворювачі, встановлені на підприємстві, які є джерелом вищих гармонік.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Характеристика споживачів підприємства. Аналіз енергоефективності підприємства. Визначення джерел вищих гармонік та їхнього впливу на втрати електроенергії в мережах підприємства. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу.
 Матеріал необхідний для висвітлення сутності проведених досліджень
 впровадження розроблених методик.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Кравець О. М., к.т.н., доцент, каф. ЕСЕЕМ	01.10.23	05.12.23
Економічна частина	Шулле Ю.А., к.т.н., доц., каф. ЕСЕЕМ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., д.п.н., професор		
Нормоконтроль	Войтюк Ю.П., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 1 жовтня 2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Характеристика підприємства та технологічного процесу	10.10.2023	
2	Аналіз енергоефективності підприємства	25.10.2023	
3	Науково дослідна частина	15.11.2023	
4	Економічна частина	20.11.2023	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	30.11.2023	
6	Написання пояснювальної записки	05.12.2023	

Студент Белза Д.І.
 (підпис)

Керівник роботи Кравець О.М.
 (підпис)

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного
менеджменту

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Аналіз втрат електричної енергії, що зумовлені використанням
перетворювачів частоти, в мережах Товариства з обмеженою відповідальністю
“Вінницький комбінат хлібопродуктів № 2”»

Виконав: студент 2-го курсу, групи ЕМ-22м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Белза Д. І.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ЕСЕЕМ

Кравець О. М.

(прізвище та ініціали)

«___» _____ 2023 р.

Опонент:

(прізвище та ініціали)

«___» _____ 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.

(прізвище та ініціали)

«___» _____ 2023 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

д.т.н, професор

_____ М. Й. Бурбело

_____ 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
БЕЛЗІ ДАНИЛУ ІВАНОВИЧУ
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Аналіз втрат електричної енергії, що зумовлені використанням перетворювачів частоти, в мережах Товариства з обмеженою відповідальністю “Вінницький комбінат хлібопродуктів № 2”

керівник роботи Кравець Олександр Миколайович к.т.н., доцент каф. ЕСЕЕМ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

МКР затверджені наказом по ВНТУ від 18 вересня 2023 року № 247

2. Строк подання студентом роботи “ 5 ” грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи Генплан підприємства, відомості про особливості технологічних процесів, відомості про електричні навантаження підприємства; відомості про джерела живлення та перспективу розвитку підприємства; відомості про силові електронні перетворювачі, встановлені на підприємстві, які є джерелом вищих гармонік.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Характеристика споживачів підприємства. Аналіз енергоефективності підприємства. Визначення джерел вищих гармонік та їхнього впливу на втрати електроенергії в мережах підприємства. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу:

Матеріал необхідний для висвітлення сутності проведених досліджень та впровадження розроблених методик.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Кравець О. М., к.т.н., доцент, каф. ЕСЕЕМ		
Економічна частина	Шулле Ю.А., к.т.н., доц., каф. ЕСЕЕМ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., д.п.н., професор		

7. Дата видачі завдання 1 жовтня 2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика підприємства та технологічного процесу	10.10.2023	
2	Аналіз енергоефективності підприємства	25.10.2023	
3	Науково дослідна частина	15.11.2023	
4	Економічна частина	20.11.2023	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	30.11.2023	
6	Написання пояснювальної записки	08.12.2023	

Студент _____ Белза Д.І.
(підпис)

Керівник роботи _____ Кравець О.М.
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Белза Данило Іванович. Аналіз втрат електричної енергії, що зумовлені використанням перетворювачів частоти, в мережах Товариства з обмеженою відповідальністю “Вінницький комбінат хлібопродуктів №2”. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітня програма – «Енергетичний менеджмент». – Вінниця, ВНТУ, 2023 – 99 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 37 назв; рис.: 23; табл. 23.

В магістерській кваліфікаційній роботі проведено техніко-економічний аналіз та розрахунок режимів споживання електроенергії за результатами проведених розрахунків запропонована система компенсації реактивної потужності, також проведений аналіз при встановленні інфрачервоного опалення, перевірка системи освітлення, зроблені висновки по втратам через нелінійні навантаження.

Також враховані економічні затрати на модернізацію освітлення, встановлення інфрачервоних ламп для обігріву проведено визначення джерел вищих гармонік та їхнього впливу на втрати електроенергії в мережах підприємства. В дипломній роботі використовуємо сучасні проектні методики, запропоновано енергозберігаючі заходи, переважно використано новітнє обладнання вітчизняного виробництва.

Ключові слова: електропостачання, електроприймач, вищі гармоніки, електроенергія.

ABSTRACT

Danylo Ivanovych Belza. Analysis of electrical energy losses caused by the use of frequency converters in the networks of the Limited Liability Company "Vinnytsia Bakery Plant № 2". Master's qualification thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", educational program - "Energy management". – Vinnytsia, VNTU, 2023 – 99 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 37 titles; Fig.: 23; table 23.

In the master's thesis, a technical and economic analysis and calculation of the modes of consumption of electricity was carried out based on the results of the calculations a reactive power compensation system was proposed, an analysis was also carried out when infrared heating was installed, an inspection of the lighting system was made, conclusions are drawn on losses due to non-linear loads.

Also taking into account the economic costs of modernizing the lighting, installing infrared lamps for heating, the sources of higher harmonics and their impact on the loss of electricity in the company's networks were determined.

In the diploma work, we use modern design methods, energy-saving measures are proposed, mostly the latest equipment of domestic production is used.

Key words: power supply, power receiver, higher harmonics, electricity.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА СПОЖИВАЧІВ ПІДПРИМСТВА	10
1.1 Відомості про споживачів підприємства та вихідні дані для виконання роботи та основні науково-технічного завдання, що потребують вирішення	10
1.2 Аналіз попередньо отриманої інформації про об'єкт	16
1.3 Висновок до розділу 1	17
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИМСТВА	18
2.1 Розрахунок навантажень підприємства	18
2.2 Вибір та розміщення підстанцій	21
2.2.1 Вибір оптимальної напруги живлення	21
2.2.2 Вибір трансформаторів ГПП	23
2.3 Розрахунок електропостачання підприємства	27
2.3.1 Розрахунок зовнішнього електропостачання	27
2.3.2 Вибір схеми та основних елементів заводської мережі	27
2.4 Висновки до розділу 2	30
РОЗДІЛ 3 ВИЗНАЧЕННЯ ДЖЕРЕЛ ВИЩИХ ГАРМОНІК ТА ЇХНЬОГО ВПЛИВУ НА ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖАХ ПІДПРИЄМСТВА	31
3.1 Джерела вищих гармонік на підприємстві	31
3.1.1 Нестабільні навантаження	32
3.1.2 Електромагнітні та електронні баласти	32
3.1.3 Однофазне електрообладнання	34
3.1.4 Релейне та комутаційне обладнання	34
3.1.5 Пристрої плавного пуску	35
3.1.6 Регульовані електроприводи	37
3.2 Наслідки виникнення та вплив вищих гармонік струму в мережах електропостачання	37
3.3 Вплив нелінійних навантажень на втрати у трансформаторах	40
3.3.1 Результат розрахунку втрат силового трансформатора з урахуванням різних нелінійних навантажень	42
3.4 Вплив нелінійних навантажень на втрати у кабельних лініях	46
3.5 Вимоги нормативних документів щодо емс	49
3.6 Методи зменшення вищих гармонік в струмах живлення напівпровідникових перетворювачів	51
3.7 Висновки до розділу 3	54
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	55
4.1 Техніко-економічний аналіз заходів з підвищення економії електроенергії на об'єкті	55
4.2 Перевірка ефективності системи освітлення	66
4.3 Висновок до 4 розділу	69

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	70
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту	70
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць в пожежонебезпечних зонах	70
5.1.2 Електробезпека	72
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	74
5.2.1 Мікроклімат	74
5.2.2 Склад повітря робочої зони	75
5.2.3 Виробниче освітлення	75
5.2.4. Виробничий шум	76
5.2.5 Виробничі вібрації	77
5.2.6 Психофізіологічні фактори	77
5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях	79
5.3.1 Дослідження безпеки роботи фільтрів вищих гармонік в умовах впливу іонізуючого випромінювання	80
5.3.2 Дослідження безпеки роботи системи КУ в умовах дії електромагнітного імпульсу	82
5.3.3 Розробка заходів по підвищенню безпеки роботи фільтрів вищих гармонік в умовах надзвичайних ситуацій	84
ВИСНОВКИ	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	88
Додатки	92
Додаток А – Технічне завдання	93
Додаток Б – Вихідні дані	96
Додаток В – Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень	98
Додаток Г – Ілюстративна частина	99

ВСТУП

Актуальність питання: Прийняття проектних рішень безпосередньо впливає на безпеку електроустановок у системі електропостачання, а також на обсяг і складність монтажних робіт.

Завдяки використанню сучасного електрообладнання, силових трансформаторів, кабельної продукції та електричних навантажень у нормальному та аварійному режимах відповідно до номінальних навантажень цих компонентів, а також за допомогою конструктивного резервування, засобів автоматизації та релейного захисту забезпечується надійність електропостачання.

Система електропостачання забезпечує нормальну роботу підприємства та керує виробничим процесом. Система електропостачання повинна бути ефективною, безпечною та надійною, мати можливість розвиватися без значних змін і забезпечувати якість регулювання електроенергії.

Об'єкт дослідження – ТОВ «ВКХП №2».

Предмет дослідження – Дослідження стосується методів управління та покращення показників енергоефективності.

Методи дослідження. Коефіцієнт попиту використовується для розрахунку активної та реактивної потужності для електрообладнання та освітлення в цехах і фабриках. Microsoft Office Excel є інструментом, який використовується для виконання більшості обчислень.

Практична цінність. Можливість використання розрахунків на ТОВ «ВКХП №2», для поліпшення системи енергозбереження підприємства.

Наукова новизна. Вдосконалено систему енергозбереження ТОВ «ВКХП №2».

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що впровадження фільтрів дозволить зменшити вищі гармоніки.

Особистий внесок здобувача. Розроблений підхід до вирішення задачі, а також результати, які були отримані, складають основний зміст магістерської кваліфікаційної роботи, яку автор отримав самостійно.

Апробація роботи магістра. На Науково-технічній конференції факультету електроенергетики та електромеханіки Лі були представлені результати дослідження (ВНТУ, 2022).

Підготовка до роботи: Белза Д.І. результати виникнення вищих гармонік струму в електромережах // Лі Студентська науково-технічна конференція з електроенергетики та електромеханіки (2022) Умови доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2022/paper/view/15702>

Робота та її структура: Вступ, п'ять розділів і список літератури складають роботу. Основна інформація міститься на 99 сторінках друкованого тексту з 23 рисунками та 23 таблицями. Загалом робота містить 99 сторінки.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА СПОЖИВАЧІВ ПІДПРИМСТВА

1.1 Відомості про споживачів підприємства та вихідні дані для виконання роботи та основні науково-технічного завдання, що потребують вирішення

До споживачів електроенергії Вінницького кхп No2 належать 15 об'єктів, включаючи адміністративні та виробничі будівлі. Рис. 1.1 показує схему розташування споруд підприємства, а табл. 1.1 показує значення встановлених потужностей об'єктів електроспоживання підприємства.

На підприємстві працюють такі системи: електропостачання, тепlopостачання, система постачання стисненого повітря, система вентиляції, підігріву та кондиціонування повітря, система водопостачання та каналізації, система освітлення та інші системи.

Система електропостачання

Система електропостачання включає повітряні та кабельні лінії електропередач, а також три двотрансформаторні підстанції з потужністю трансформаторів 1000 кВА. Немає системи, яка контролює використання встановленої потужності та компенсує реактивну потужність.

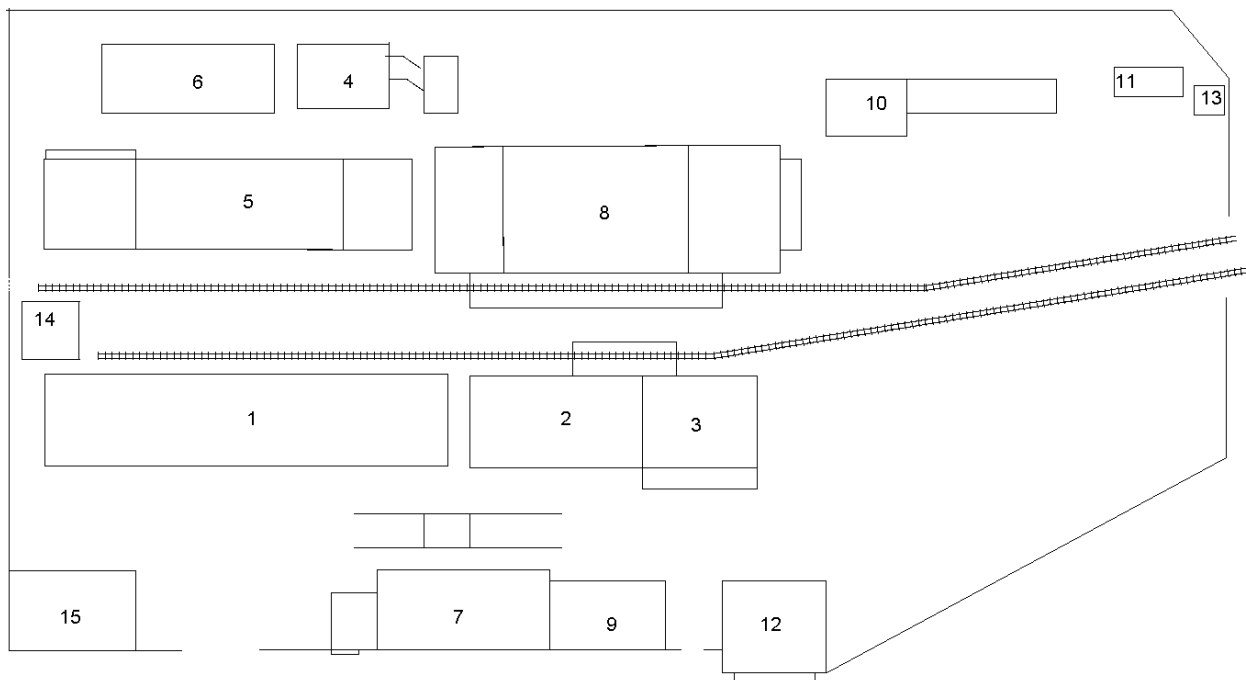


Рисунок 1.1 – Генеральний план підприємства

Відомості про електричні навантаження підприємства.

ТОВ Вінницький комбінат хлібопродуктів № 2 отримує електроенергію від повітряної лінії електропередач довжиною 3500 метрів від підстанції «п/ст. ТОВ Пневматика».

Таблиця 1.1 – Встановлені потужності об'єктів електроспоживання підприємства

№	Назва цеха	Встановлена потужність, кВт
1	Елеватор	646
2	<u>Млинцех №1</u>	350
3	<u>Млинцех №2</u>	250
4	Крупцех№1	380
5	Склад	100
6	Рем. Буд. цех	150
7	Крупцех№2	420
8	Комбікормовий завод	410
9	Лабораторія	110
10	Котельна	490
11	Пилорама	100
12	<u>Адмінкорпус</u>	90
13	Пожежне депо	22
14	Транспортний цех	38
15	Механічні майстерні	290

У результаті аналізу найбільш завантажених змін, отриманих за допомогою показників вимірювальних приладів, було виявлено, що найбільша активна та реактивна потужність компанії в середньому складають відповідно $P_{\max} = 1562$ кВт, $Q_{\max} = 2007$ квар.

В табл. 1.2 наведено опис основних електроприймачів об'єктів електроспоживання підприємства.

Таблиця 1.2 – Електроприймачі підприємства

№	Найменування об'єкта	Найменування електроприймачів
5	Склад	Освітлення, вентилятори
6	Рем. Буд. цех	Електроприводи, освітлення
1,2,3,4,7,8	Комбікормовий завод, Крупцех№2, Крупцех№1, Елеватор, Млинцех №1, Млинцех №2	Техн. установки, Норії , мости , вентилятори, електроприводи
9	Лабораторія	Офісна техніка, освітлення, електроплити, вентилятори.
10	Котельня	Освітлення, насоси
11	Пилорама	Електроверстати, освітлення, деревообробні обладнання
12	Адмінкорпус	Побутова техніка, офісна техніка, освітлення, електроплити, вентилятори.
13	Пожежне депо	Електроприводи, освітлення
14	Транспортний цех	Електроприводи, освітлення
15	Механічні майстерні	Електроприводи, освітлення

Система освітлення.

Значна кількість ламп розжарювання та світлодіодних ламп є характеристикою системи освітлення невиробничих приміщень. В промислових і складських приміщеннях використовуються світлодіодні, люмінесцентні та лампи розжарювання.

Система кондиціонування, підігріву повітря та вентиляції.

Представлені 48 кондиціонерів і вентиляційних систем потужністю від 1,5 до 15 кВт.

Режим роботи підприємства

Підприємство працює в дві зміни. Перша зміна з 8.00 до 20.00. Друга зміна з 20.00 до 08.00. Кількість робочих днів в рік – 250. Кількість вихідних та святкових - 115

Номенклатура та об'єми виробництва продукції[2]

Обсяги виробництва основної продукції наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Обсяги виробництва продукції

Найменування продукції	Вартість, кількість	Обсяги виробництва		
		2019 р.	2020 р.	2021 р.
Борошно	млн. грн.	160	329	340
	тонн	35032	41242	44688
Манка	млн. грн.	127	191	220
	тонн	36500	38325	40150
Гречка	млн. грн.	116	155	237
	тонн	29200	31025	36500
Цукор	млн. грн.	23	12	54
	тонн	12331	8655	15313
Побічні продукти	млн. грн.	98	67	87
	тонн	12768	10865	11464

Фінансовий стан підприємства

Компанія не має заборгованості за енергоносії та зарплату. Компанія активно працює над розширенням свого ринку збуту.

Кількість працівників: Компанія має приблизно 400 працівників.

Щорічне електроспоживання об'єкта та його структурних одиниць

На Вінницькому КП використовуються природний газ, електроенергія та вода. Таблиці 1.4 і 1.5 містять інформацію про використання електроенергії.

Таблиця 1.4 – За даними на 2021 рік загальне споживання та вартість енергоносіїв

Енергоносіїв	Річне споживання	Річні витрати, грн.
Активна електроенергія	16334567кВт·год.	11251080
Реактивна електроенергія	1289100квар·год.	1807110

Таблиця 1.5 – Дані про щомісячне використання підприємством електроенергії та природного газу за 2019 рік.

Місяць	Споживання активної електроенергії, <u>кВт·год.</u>	Споживання реактивної електроенергії, <u>квар·год.</u>	Споживання газу, м ³
Січень	1308570	11665	30260
Лютий	931300	118213	31889
Березень	1632780	93278	30841
Квітень	1510100	99456	32975
Травень	1109000	127800	33032
Червень	1152632	109200	36410
Липень	1230835	117400	37839
Серпень	1235632	127000	33641
Вересень	1845480	164200	30459
Жовтень	1504652	105334	30486
Листопад	1549000	108500	30846
Грудень	1324586	107054	35427
Разом	16334567	1289100	394105

11. Система тарифів на енергоносії, які використовує підприємство, а також існуючі обмеження на споживання енергії

Вінницький кхп сплачує за природний газ за ціною 29000 грн./1000 м³.

Тариф на водопостачання – 15 грн./м³, на водовідведення – 9,86 грн./м³.

Тариф на активну електроенергію складає 4 грн./кВт·год.

На підприємстві облік перетоків реактивної електроенергії між енергопостачальною організацією та споживачем є звичайним процесом. Розрахунок реактивної електроенергії ґрунтується на схемі, яка використовується енергопостачальною організацією та її споживачами для визначення плати за перетоки реактивної електроенергії [12].

12:Наявність і особливості систем обліку та контролю споживання енергії

Електронний багатофункціональний лічильник електричної енергії АСЕ 6000 є частиною системи комерційного обліку електроенергії. Він приєднаний до шин 10 кВ центрального розподільного пристрою підприємства через трансформатори напруги та струму. Для здійснення комерційного обліку (АСКОЕ) подібні лічильники приєднані до шин РП високої напруги трьох заводських ТП.

Нижче представлені технічні характеристики нашого лічильника АСЕ 6000:

- Багатотарифні вимірювання потужності активної та реактивної енергії;
- Можливе вимірювання струму, Cos фі, напруги, частоти, та інших величин;
- Вимірювання мають високу точність і стабільність;
- Дисплей з багатьма функціями;
- Можливість дистанційного або локального зчитування даних, два порти для комунікації, чотири керуючі/імпульсні вводи/виводи;
- Присутній захист від доступу який несанкціонований;
- На борту має комунікаційні протоколи DLMS / COSEM.

1.2 Аналіз попередньо отриманої інформації про об'єкт

1. На заводі виготовляються п'ять основних видів виробів. Знаючи кількість цих виробів, можна розрахувати норми використання електроенергії та порівняти їх з аналогічними нормами на інших заводах, а також визначити можливість покращення норм після впровадження заходів щодо економії енергії.

2: На підприємстві використовується один тариф оплати електроенергії. Отримана інформація дозволяє оцінити, наскільки ефективним було коригування добового графіка навантаження компанії. Це також дозволяє визначити, наскільки ефективним було переходити на інші види тарифів.

3: Лише лічильники активної та реактивної енергії на вводі ЦРП підприємства характеризують системи обліку та контролю енергоспоживання.

Немає лічильників технічного обліку. Таким чином, існує ймовірність того, що впровадження додаткових засобів контролю та обліку енергоносіїв було б економічно вигідним. Ці цілі включають нагляд за дотриманням стандартів використання електроенергії та виявлення об'єктів, які використовують електроенергію неефективно. Можливі методи збереження енергії

Виходячи з аналізу попередніх даних, підприємству запропоновано перевірити, наскільки ефективними є наступні заходи з енергозбереження.

1.Перевірка ефективності використання систем КРП.

2:Перевірка ефективності заміни ртутних ламп на натрієві в системі зовнішнього освітлення та люмінесцентних ламп в адміністративному корпусі.

3:Перевірка ефективності заміни системи інфрачервоного опалення на систему водяного опалення в цехах з великими площами та невеликою кількістю виробничого персоналу.

4.Перевірка ефективності встановлення частотних перетворювачів напруги для електропостачання двигунів циркуляційних насосів котельні, оскільки під час перевірки було виявлено, що продуктивність насосів контролюється за допомогою засувки.

Порівняльний аналіз пропозицій щодо $W_p = 1289100$ квар·год. енергозбереження

1. Компанія споживає реактивну енергію кількістю за яку сплачує

За результатами експерименту було встановлено, що максимальна реактивна потужність підприємства на півгодину становила 2007 $C = 1807110$ грн.

квар, тому доцільно встановити компенсувальну

установку з такою ж потужністю, якщо потрібно максимальна КРП.

Встановлення КРП потужністю 2000 квар, враховуючи витрати на введення в експлуатацію, приблизно коштуватиме $B_{ку} = 1.400$ млн. грн. В такому випадку,

простий термін окупності компенсаційної установки складе

$$T = \frac{B_{ку}}{C} = \frac{1400000}{1807110} = 0,77 \text{ року.} \quad (1.1)$$

Крім того, термін окупності установки КРП повинен бути ще коротшим, оскільки облік електроенергії відбувається на ЦРП з високою напругою, а при використанні КРП також відбуваються втрати активної енергії в лініях і трансформаторах.

Таким чином, компенсація реактивної потужності компанії є необхідною і доцільно провести більш детальне техніко-економічне обґрунтування.

Статистика показує, що, порівняно з використанням засувки, використання частотних перетворювачів для регулювання швидкості електроприводів насосів систем опалення веде до значної економії електроенергії від десяти до тридцяти відсотків.

1.3 Висновки до розділу 1

Доходимо до висновку: За результатами попередньої перевірки ТОВ «ВКХП №2» було виявлено, що компанія активно працює та має надійний збут продукції. Електрична енергія споживається виробничими потужностями. Виробничі механізми з асинхронними двигунами, котельня та освітлювальні установки є потужними споживачами.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Розрахунок навантажень підприємства

Ми використовуємо метод коефіцієнта попиту, щоб визначити активну та реактивну потужність силового обладнання компанії, використовуючи ці формули:

$$P_c = K_{\Pi} \cdot P_H, \quad Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.1)$$

Розрахункове навантаження освітлювальних установок визначається за допомогою методу коефіцієнта попиту. Номінальна потужність освітлення приблизно визначається за питомою потужністю на 1м² площі одного цеху.

Формула використовується для визначення розрахункової потужності електричного освітлення.:

$$P_0 = P_{\text{ПИТ.О}} \cdot K_{\text{ПО}} \cdot K_{\text{ПРА}} \cdot F, \quad (2.2)$$

$$Q_0 = P_0 \cdot \text{tg}\phi_0, \quad (2.3)$$

Розрахункові потужності дорівнюють сумі силового та освітлювального навантаження:

$$P_p = P_c + P_0, \quad Q_p = Q_c + Q_0, \quad (2.6)$$

Розрахункові максимальні навантаження підприємства визначають з наведених нижче виразів:

$$P_{p\Sigma} = K_0 \left(\sum_{i=1}^N P_{Pi} + P_{PЦi} + P_{P3} \right) + P_{O\Sigma}, \quad Q_{p\Sigma} = Q \left(\sum_{i=1}^N Q_{Pi} + Q_{PЦi} + P_3 \right) \quad (2.7)$$

З [1, таблиця 1.4] визначаємо, що $K_0 = 0,95$.

Сумарне навантаження організації:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} \text{ (кВА)}, \quad (2.8)$$

Здійснюємо розрахунок навантажень підприємств за допомогою табличного редактора, результати яких наведено в таблиці 2.1. [5]

Назва цеху	Силове навантаження						Освітлювальне навантаження						Сумарне навантаження		
	Рн, кВт	Кп	cosφ	tgφ	Ре, квар	Ф, м2	Рпито Вт/м2	Кпо	Кпра	Ро, кВт	Рр, кВт	Рр, квар	Sp, кВА		
Елеватор	322				595,078	741,063	2224	0,022	0,95	1,1	51,13	646,21	1022,33		
Млинцех №1	350	0,2	0,6	1,05	70	73,38	956	0,019	0,85	1,1	16,98	86,98	125,428		
Млинцех №2	250	0,3	0,55	1,13	75	85,00	1668	0,0215	0,93	1,1	36,69	111,69	165,172		
Крущцех №1	380	0,25	0,7	1,23	95	116,85	385	0,015	0,73	1,1	4,64	99,64	157,12		
Склад	100	0,15	0,5	1,28	15	19,20	586	0,018	0,81	1,1	9,40	24,40	37,5917		
Рем. Буд. цех	150	0,18	0,55	1,4	27	37,80	394	0,016	0,75	1,1	5,20	32,20	53,7211		
Крущцех №2	420	0,25	0,535	1,35	105	141,75	1063	0,02	0,89	1,1	20,81	125,81	205,563		
Комбжормовий завод	410	0,27	0,52	1,435	110,7	158,85	1045	0,02	0,87	1,1	20,00	130,70	221,523		
Лабораторія	110	0,13	0,505	1,52	14,3	21,74	412	0,017	0,77	1,1	5,93	20,23	34,2767		
Котельня	490	0,26	0,49	1,58	127,4	201,67	1370	0,021	0,91	1,1	28,80	156,20	278,414		
Пилорама	100	0,15	0,475	1,65	15	24,69	351	0,017	0,69	1,1	4,53	19,53	35,1438		
Адмінкорпус	90	0,11	0,46	1,71	9,9	16,92	240	0,011	1	1,2	3,17	13,07	23,9632		
Пожежне дело	22	0,1	0,445	1,77	2,2	3,90	498	0,018	0,79	1,1	7,79	9,99	15,3754		
Транспортийний цех	38	0,13	0,43	1,83	4,94	9,06	374	0,0012	0,71	1,1	0,35	5,29	10,7995		
Механічні майстерні	290	0,23	0,415	1,90	66,7	126,59	808	0,019	0,83	1,1	14,02	80,72	162,125		
Всього на напрузі 0,4 кВ	3522				1333,22	1778,47	12374	0,2557			229,44	1562,654	2544,32		

2.2 Вибір та розміщення підстанцій

2.2.1 Вибір оптимальної напруги живлення

Вибір оптимальної напруги для елементів електричної мережі є техніко-економічною проблемою, яка повинна вирішуватися разом із плануванням схеми електропостачання на основі можливих варіантів виконання. Розрахунок напруги ліній електропередач може бути виконаний за допомогою емпіричної формули Стілла.:

$$U_{\pi} = 1000 / \sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_p}} \text{ (кВ)}; \quad (2.9)$$

Ми отримуємо нестандартну напругу, коли використовуємо цю формулу для розрахунку напруги. [3] Для подальших розрахунків ми використовуємо більшу та меншу стандартні напруги порівняно з напругою, розрахованою за емпіричною формулою Стілла. Подальші розрахунки виконуємо для кожного з обраних варіантів стандартної напруги..

$$U_{\pi} = 1000 / \sqrt{\frac{500}{0,9} + \frac{2500}{1562,6}} = 42,3 \text{ (кВ)}; \quad (2.10)$$

Схеми зовнішнього електропостачання 10 кВ і 35 кВ розробляються на основі відомих ступенів напруги на районній електричній станції і оптимальної величини нестандартної напруги. 2.2.2 Техніко-економічне порівняння різних класів напруги живлення [5]

Для проведення техніко-економічних розрахунків необхідно розрахувати вартість капітальних вкладень, щоб визначити оптимальний варіант з вищою і нижчою номінальними напругами. Для досягнення цього ми повинні розрахувати вартість кабелів, трансформаторів, щорічних витрат і амортизацію.

Розрахунок вартості будівництва було виконано та представлено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Розрахунок капітальних вкладень

Перелік елементів схем	Вартість одиниці	Варіант 1		Варіант 2	
		Кількість	Вартість	Кількість	Вартість
Лінії передачі, км					
35 кВ, кабельна	777,6	0,8	699,8		0
10 кВ, кабельна	539,2		0	0,8	485,2
Всього по лініях			622,08		431,36
Підстанції					
Спорудження ПС 35 кВ 2х2500 кВ*А	3700	1	3700		
Розширення РП-10 кВ	78,4		0	3	235,2
Спорудження РП-10 кВ	78,4		0	16	1254,4
Всього ПС			3700		1489
Всього			4322,08		1920

Розраховуємо річні витрати на технічне обслуговування, ремонт, амортизацію та втрати. Розрахуємо та занесемо результати у таблицю 2.3

Таблиця 2.3 – Щорічні оціночні витрати на технічне обслуговування, ремонт, амортизацію та втрати.

Перелік поточних витрат	Варіанти	
	1	2
Щорічні витрати на технічне обслуговування і ремонт, в тому числі		
КЛ - 10кВ, 2,3% від К	-	46,455
КЛ 35кВ, 2,3% від К	89,408	-
ПС 10 кВ, 4,3% від К	-	88,422
ПС 35 кВ, 4,3% від К	175,85	-
Всього щорічні витрати на обслуговування, Во	285,26	151,11
Амортизація, в тому числі:	-	-
КЛ - 10кВ, 4% від К	-	79,462
КЛ 35кВ, 4% від К	122,88	-
ПС 10 кВ, 3,6% від К	-	71,516
ПС 35 кВ, 3,6% від К	155,59	-

Продовження таблиці 2.3

Перелік поточних витрат	Варіанти	
	1	2
Всього щорічні витрати на амортизацію, Ва	328,48	155,98
Втрати максимальної потужності, кВт	63,45	88,83
Вартість втрат електроенергії	179,26	354,32
Всього щорічні витрати, В	876,44	756,98

Зведені річні витрати будуть складати:

$$Z_1 = 0,1 \cdot K_1 + B_1 = 0,1 \cdot 1920 + 756,98 = 948,98 \text{ (тис.грн.);} \quad (2.11)$$

$$Z_2 = 0,1 \cdot K_2 + B_2 = 0,1 \cdot 4322,08 + 876,44 = 1291,648 \text{ (тис.грн.);} \quad (2.12)$$

Згідно розрахунків вигідним та доцільним є варіант 10 кВ. Термін окупності додаткових капіталовкладень буде складати:

$$T_{ок} = \frac{K_1 - K_2}{B_2 - B_1} = \frac{4322,08 - 1920}{876,44 - 756,98} = 20,10 \quad (2.13)$$

Отже, дод. капітальні вкладення за 2 варіантом будуть складати понад 20 років.

2.2.2 Вибір трансформаторів ГПП

Встановлено два трансформатори такої ж потужності на ГПП [4], щоб забезпечити роботу основних споживачів на період відновлення пошкодженого трансформатора. Номінальна потужність трансформаторів двотрансформаторної ГПП:

$$S_H = (0,5 \div 0,7) \cdot S_p = (0,5 \div 0,7) \cdot 2544,32 = 1,12 \div 1,57 \text{ (МВА).} \quad (2.14)$$

Вибираємо два трансформатори ТМ 2500/35 [4, табл.3.4]. Номінальні параметри яких представлені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.4 - Номінальні параметри трансформаторів ГПП

Марка	S_H , кВА	U_{BH} , кВ	U_{HH} , кВ	ΔP_{XX} , кВт	ΔP_K , кВт	I_{XX} , %	U_K , %
ТМ-2500/35	2500	13,8	6,3	4,1	23,5	1	6,5

Допустимість аварійного перевантаження під час виходу з ладу одного трансформатора можна перевірити за допомогою стандартного графіка навантаження, як показано на рис. 2.2.

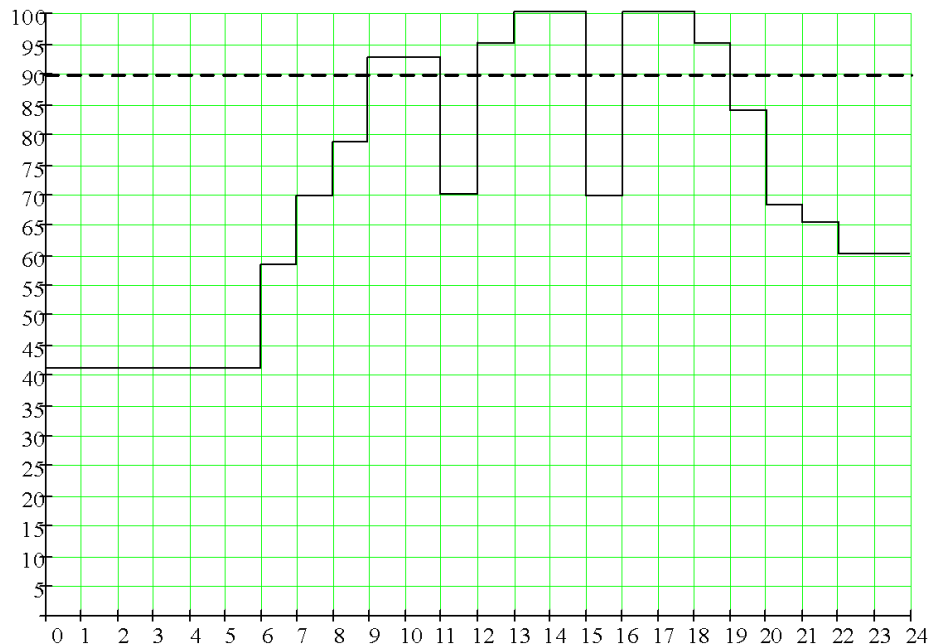


Рисунок 2.1 – Стандартний добовий графік навантаження ВКХП No2

Ми повинні побудувати лінію номінального навантаження:

$$S_{НОМ.Т\%} = \frac{S_{НОМ.Т}}{S_M} \cdot 100\% = \frac{2500}{2544,32} \cdot 100\% = 98,2 \quad \%, \quad (2.15)$$

З графіка випливає, що тривалість перевантаження $h' = 8$ год. Визначимо коефіцієнт початкового навантаження: [6]

$$K_1 = \frac{1}{S_{\text{НОМ.Т\%}}} \cdot \sqrt{\frac{\sum S_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum \Delta t_i}}, \quad (2.16)$$

$$K_1 = \frac{1}{98,2} \cdot \sqrt{\frac{40^2 \cdot 9 + 45^2 \cdot 1 + 50^2 \cdot 1 + 55^2 \cdot 2 + 60^2 \cdot 1 + 65^2 \cdot 2 + 70^2 \cdot 1 + 75^2 \cdot 2 + 80^2 \cdot 1 + 85^2 \cdot 1}{15}} = 0,67,$$

Коефіцієнт перевантаження (середньоквадратичне значення):

$$K_2' = \frac{1}{S_{\text{НОМ.Т\%}}} \cdot \sqrt{\frac{\sum S_i^2 \cdot \Delta h_i}{\sum \Delta h_i}} = \frac{1}{98,2} \cdot \sqrt{\frac{92,5^2 \cdot 2 + 95^2 \cdot 2 + 100^2 \cdot 4}{8}} = 0,98 \quad (2.17)$$

Максимальне навантаження:

$$K_{\text{МАХ}} = \frac{S_{\text{М}}}{S_{\text{НОМ.Т}}} = \frac{2544,32}{2500} = 1,01 \text{ (МВА)}. \quad (2.18)$$

Оскільки $K_2' > 0,9 \cdot K_{\text{МАХ}} = 0,9 \cdot 1,01 = 0,916$, то приймаємо $K_2 = 1,01$ і $h = h' = 14$ год.

Значення $K_2 = 0,9 < 1,3$, є меншим чим допустиме перевантаження, значення якого наведено в [1, таблиця 2.2].

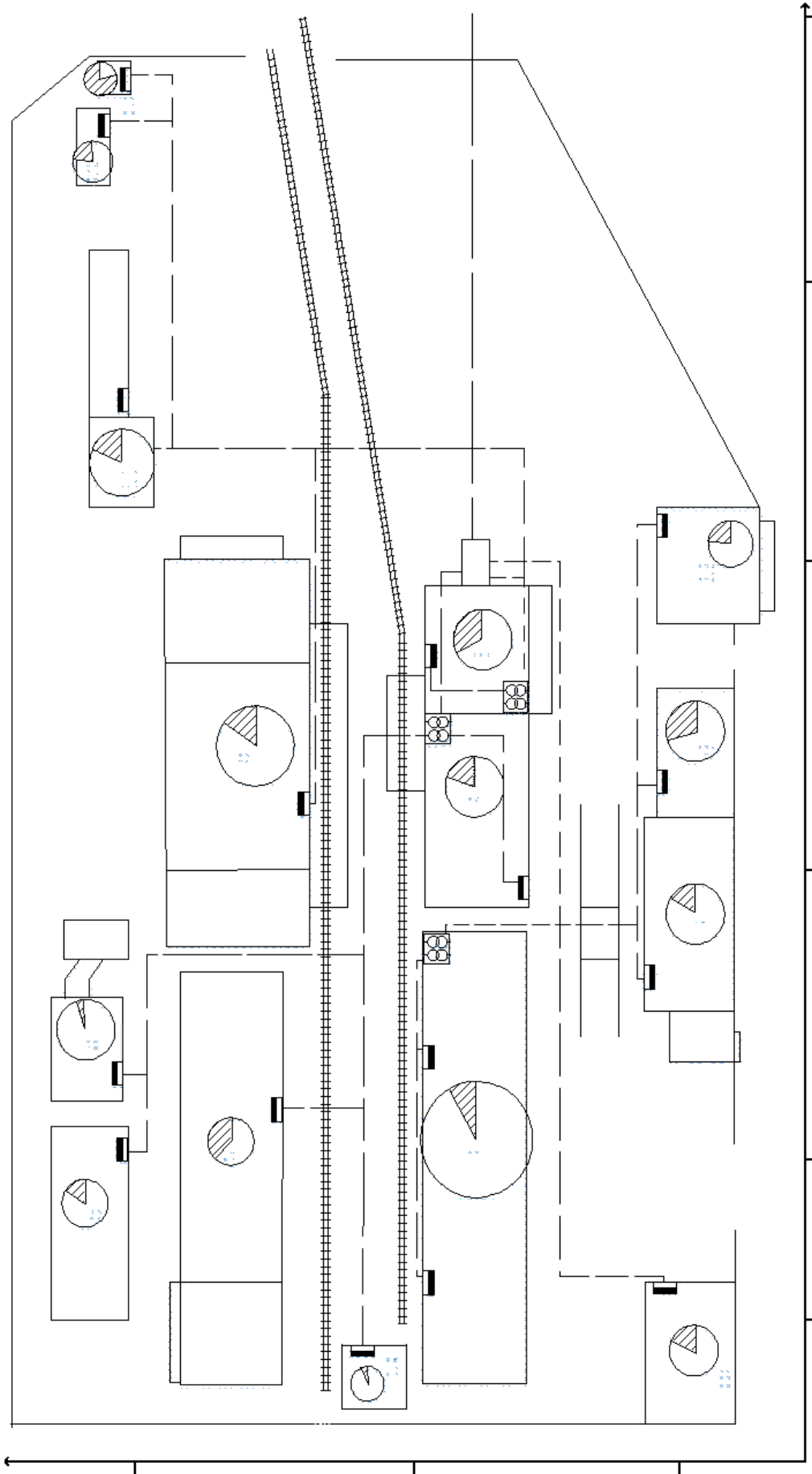


Рисунок 2.2 – Генеральний план підприємства

2.3 Розрахунок електропостачання підприємства

2.3.1 Розрахунок зовнішнього електропостачання

Система кабельних ліній напругою 35 кВ, довжиною 8 км, забезпечує електроенергією комбінат. [2] На території підприємства планується зведення ГПП із двома трансформаторами ТМ 2500/35 та трьома цеховими трансформаторними підстанціями потужністю ТМ 1000/10.

Загальні затрати заводської мережі розраховуються за формулою:

$$Z_{\text{тп1}} = K \cdot (1 + a) + \Delta W_{\text{тр}\Sigma} \cdot a, \quad (2.30)$$

$$K = \sum_1^n B_{\text{тп.i}}, \quad (2.31)$$

2.3.2 Вибір схеми та основних елементів заводської мережі

Таблиця 2.11 - Капітальні затрати на спорудження мережі

№	Марка ТП	Ст, кВА	n, шт.	Тип та кількість шаф	Вартість грн.
ГПП	ТМ-2500/35	2500	2	-	1 150 700
ТП 1	ТМ-1000/10	1000	2	2 КН-2; 2 КН-3; 4 КН-4	754 000
ТП 2	ТМ-1000/10	1000	2	2 КН-2; 2 КН-3; 4 КН-4	754 000
ТП 3	ТМ-1000/10	1000	2	2 КН-2; 2 КН-3; 4 КН-4	754 000
Капітальні затрати на спорудження мережі					3 412 000

Загальні затрати на будівництво заводської мережі:

$$Z_{\text{тп}\Sigma} = 3412000 \cdot (1 + 0.12) + 1.91 \cdot 190435 = 4185171 \text{ (грн)}$$

Розраховуємо струм для нормального і післяаварійного режимів для лінії живлення підприємства напругою 35 кВ:

$$I_{\text{ж}} = \frac{S_{\text{р}\Sigma}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{2544,32}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 20,9 \text{ (А)}, \quad (2.32)$$

$$I_{\text{ж}}^{\text{а}} = \frac{S_{\text{р}\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{2544,32}{\sqrt{3} \cdot 35} = 41,9 \text{ (А)}, \quad (2.33)$$

Для побудови лінії використаємо трижильний кабель із ізоляцією із зшитого поліетилену з алюмінієвими жилами типу АПвЕБВ-50 із перерізом $3 \times 50 \text{ мм}^2$ і значенням допустимого струму $=177 \text{ А}$ [3]. Кабель прокладається в трубі, яку монтуємо в траншеї.

$$41,9 \text{ (А)} < 177 \text{ (А)}$$

Крім того, ми проводимо лінії живлення 10 кВ від ГПП до цехових ТП трижильним кабелем із ізоляцією із зшитого поліетилену та алюмінієвими жилами кабелю, які прокладено у землі в траншеї.

Високовольтні вимикачі слід вибирати відповідно до номінальної напруги та розрахункового струму, а також після аварійних ситуацій, а також можливого нерівномірного розподілу струму між лініями та секціями шин:

$$U_{\text{ном в}} \geq U_{\text{ном мережі}}, \quad (2.34)$$

$$I_{\text{ном в}} \geq I_{\text{ж}}^{\text{а}}. \quad (2.35)$$

Для установки в комірках напругою 35 кВ обираємо елегазові вимикачі ВГБ-35. Номінальний струм вимикачів для всіх приєднань 630 А . Час відключення вимикача складає $0,07 \text{ с}$. Для встановлення в комірках 10 кВ обираємо вакуумні вимикачі ВР1-10-20/630 У2 ТУ У 22588376.008-98. Номінальний струм вимикачів складає 630 А . [10]

Таблиця 2.12 — Вибір високовольтних вимикачів і перерізу провідників

Ділянка	Іж, А	Іжа, А	Вимикач	Ін.в, А	Лінія Живлення		Ідоп, А
					Тип	Перер із	
ПС- ГПП	20,9	41,9	ВГБ-35- 12,5/1000	1000	АПвЭБВ- 35	3x50	177
ГПП- ТП1	41	83	ВБЭМ-10- 20/630	630	АПвЭБВ- 10	3x50	177
ГПП- ТП2	20	41	ВБЭМ-10- 20/630	630	АПвЭБВ- 10	3x50	177
ГПП- ТП3	11	22	ВБЭМ-10- 20/630	630	АПвЭБВ- 10	3x50	177

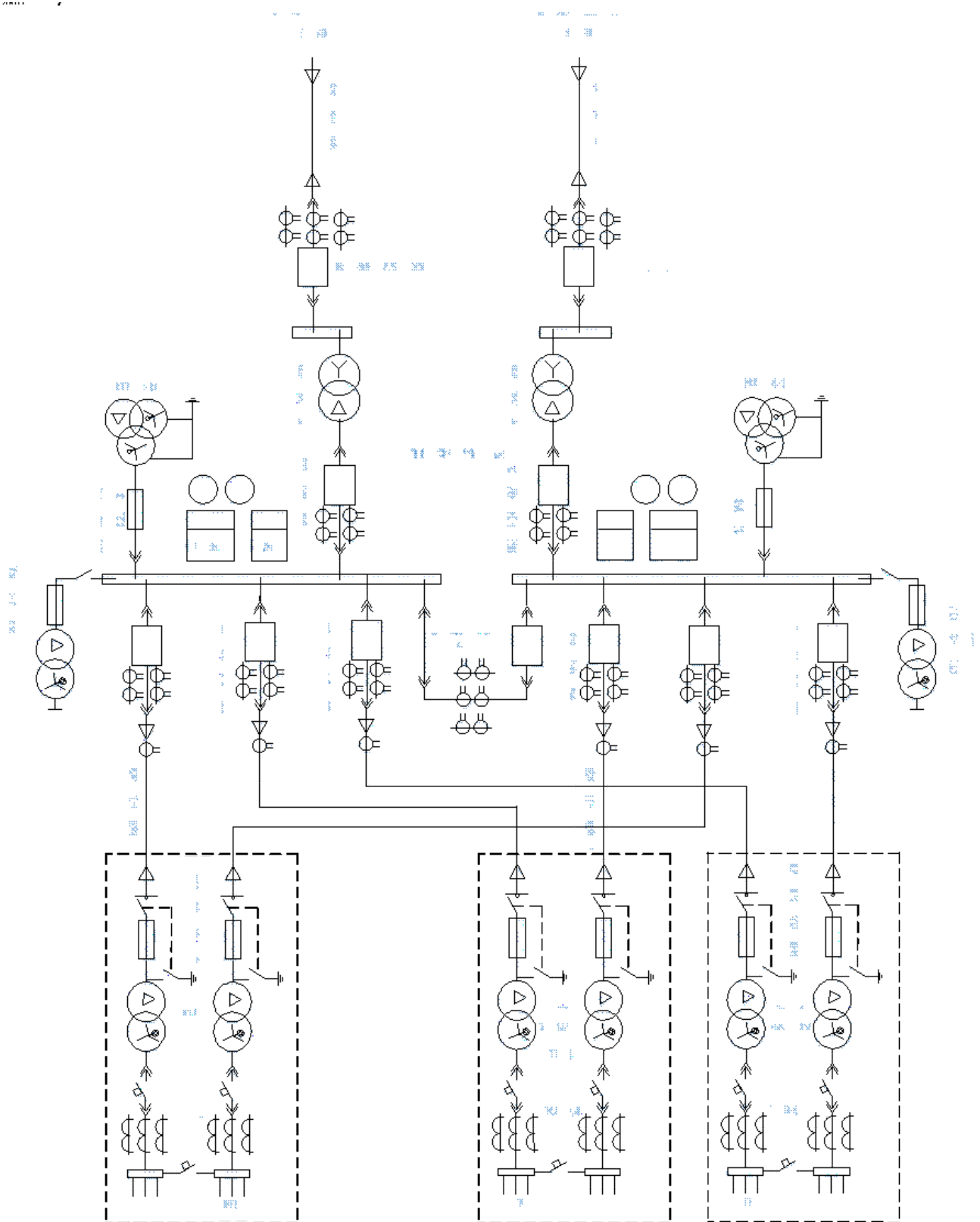


Рисунок 2.3 Однолінійна схема електропостачання підприємства

2.4 Висновки до розділу 2

У розділі була проаналізована схема електропостачання Вінницького комбінату хлібопродуктів №2. Для цього було розраховане електричне навантаження заводу.

Розрахунок мережі заводу, закупівля основного обладнання та виконання всіх нормативних документів дозволять реалізувати надійну систему електропостачання заводу.

На основі проведених розрахунків було доведено, що головна понижувальна підстанція ГПП з трансформаторами ТМ-2500/35 та три двотрансформаторні цехові ТП з трансформаторами ТМ-1000/10 будуть забезпечувати потрібний рівень надійності системи електропостачання.

РОЗДІЛ 3

ВИЗНАЧЕННЯ ДЖЕРЕЛ ВИЩИХ ГАРМОНІК ТА ЇХНЬОГО ВПЛИВУ НА ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖАХ ПІДПРИЄМСТВА

3.1 Джерела вищих гармонік на підприємстві

Гармоніка напруги — це періодична напруга, частота якої є кратною основній частоті напруги живлення, ілюстрація на рис. 3.1.

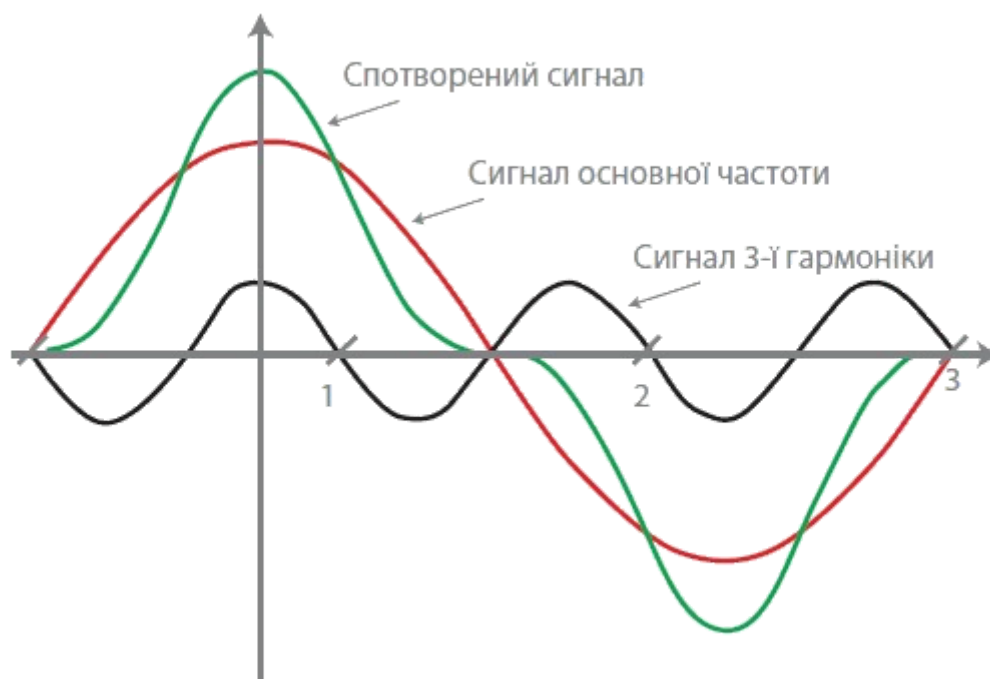


Рисунок 3.1 – Спотворення сигналу основної частоти вищими гармоніками

Гармоніки — це спотворення синусоїдальної напруги, які виникають при підключенні до електричної мережі нелінійних навантажень. Нелійними називаються навантаження, які споживають струм, форма якого не є синусоїдальною. Амплітуда і частота гармонік залежать від того, наскільки сильно спотворюється форма струму. Спотворення, внесені нелійними навантаженнями, як правило, мають періодичний характер.

Серед безлічі джерел гармонік як найбільш поширених можна виділити наступні:[19]

- Нестабільні навантаження
- Електромагнітні і електронні баласти систем освітлення
- Однофазне електрообладнання
- Релейне та комутаційне обладнання
- Пристрої плавного пуску
- Регульовані електроприводи.

Далі висвітлимо кожне джерело окремо та виокремимо основні риси.[20]

3.1.1 Нестабільні навантаження

Нестабільні навантаження представляють собою одне з головних джерел вищих гармонік у електроенергетичних системах. Ці навантаження включають в себе пристрої та обладнання, які мають нестабільні вольт-амперні характеристики, тобто їхні струми та напруги не пропорційні.

Основні риси нестабільних навантажень:

-Нелінійні вольт-амперні характеристики: Це означає, що струм та напруга цих пристроїв не є лінійною. Вони можуть генерувати несинусоїдальні струми, які містять вищі гармоніки.

-Змінні струми та напруги: Нестабільні навантаження можуть споживати змінні струми та напруги з часом. Це може бути властивим для електроніки, а також деяких видів промислового обладнання.

-Збудження вищих гармонік: Нестабільні навантаження можуть бути джерелом генерації вищих гармонік. Оскільки їхні вольт-амперні характеристики не є лінійними, вони можуть створювати гармоніки під час своєї роботи.

3.1.2 Електромагнітні та електронні баласти

Електромагнітні та електронні баласти є компонентами систем освітлення, і вони можуть генерувати вищі гармоніки в електроенергетичних системах.

Електромагнітні баласти є традиційними пристроями для керування роботою розрядних ламп, таких як люмінесцентні лампи та високо інтенсивні

розрядні лампи (HID), рис. 3.2 – 2. Вони використовують бобіни та трансформатори для регулювання потоку струму, який подається на лампу. Однак електромагнітні баласти мають деякі характеристики, які можуть впливати на вищі гармоніки:

1. Споживання активної потужності: Електромагнітні баласти споживають активну потужність, але їхні вольт-амперні характеристики можуть бути нелінійними під час роботи, що призводить до генерації вищих гармонік у струмі, подаваному на лампу.

2. Заводські баласти: Електромагнітні баласти, які виготовляються заводами, можуть мати різні характеристики, і деякі з них можуть генерувати більше вищих гармонік, ніж інші.

3. Завищені втрати: Електромагнітні баласти можуть витратити додаткову активну потужність, що впливає на ефективність освітлення та збільшує загальні втрати електроенергії.[21]

Електронні баласти, див. рис. 3.2 – 1.

Електронні баласти є сучасними та більш ефективними пристроями для керування лампами в системах освітлення. Вони використовують електронні компоненти, такі як транзистори, для регулювання струму та напруги, яка подається на лампи. Вплив електронних баластів на вищі гармоніки включає наступне:

1. Зменшення генерації вищих гармонік: Електронні баласти, як правило, мають кращу лінійність у вольт-амперних характеристиках, що допомагає знизити генерацію вищих гармонік.

2. Зменшення втрат потужності: Електронні баласти можуть бути більш ефективними, що дозволяє зменшити втрати активної потужності у системі.

3. Покращення якості світла: Електронні баласти дозволяють керувати яскравістю та стабільністю світла, що поліпшує якість освітлення.

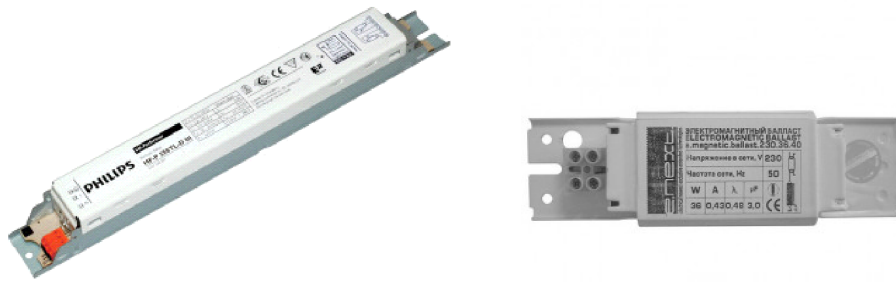


Рисунок 3.2 – 1 - Баласт електронний 18Вт. 2 - Баласт електромагнітний 30Вт

3.1.3 Однофазне електрообладнання

Вищі гармоніки можуть виникати в однофазному електрообладнанні з різних причин, пов'язаних з характеристиками завантаження та подачі електроенергії. Ось деякі можливі джерела вищих гармонік в однофазному електрообладнанні:

Нестабільні навантаження, неоднорідності в мережі живлення, нелінійність електромагнітних компоненті, перетворення енергії, несиметричне навантаження.

Для контролю та зниження впливу вищих гармонік у однофазних системах важливо використовувати фільтри вищих гармонік, контролювати навантаження, споживати обладнання з низькою споживаною потужністю, та забезпечувати стабільність у системі живлення.

3.1.4 Релейне та комутаційне обладнання

Релейне та комутаційне обладнання можуть бути потенційними джерелами вищих гармонік у електричних системах, рис. 3.3. Ось деякі способи, якими це може статися:

- Перемикання реле: Реле - це електромеханічні пристрої, які використовуються для вимкнення або включення електричних ліній або навантажень. Під час перемикання реле може виникати індукційний або

ємнісний ефекти, що призводять до перерв в роботі струму та генерації вищих гармонік.[21]

- Використання комутаційних ключів: Комутаційні ключі, такі як транзистори або тиристори, використовуються для керування електричними лініями та навантаженнями. Перемикання комутаційних ключів може сприяти генерації вищих гармонік через високочастотні спотворення в хвилях комутації.

- Незадовільна ізоляція та змінна частота: Якщо релейне або комутаційне обладнання має незадовільну ізоляцію або працює на змінній частоті, то це може призводити до спотворення сигналу та генерації вищих гармонік у системі.

- Реактивна потужність: В деяких випадках, релейне або комутаційне обладнання може викликати реактивну потужність, яка може мати вищі гармоніки в складі струму та напруги.



1



2

Рисунок 3.3 – 1 – Трифазне реле напруги 2 - Пускач захисту двигуна

3.1.5 Пристрої плавного пуску

Пристрої плавного пуску (ППП), такі як плавні стартові релейні пускорегулювальні пристрої (ППРП) (Рисунок 3.4), можуть бути потенційними джерелами вищих гармонік у системах електропостачання. Ось деякі способи, якими це може відбуватися:

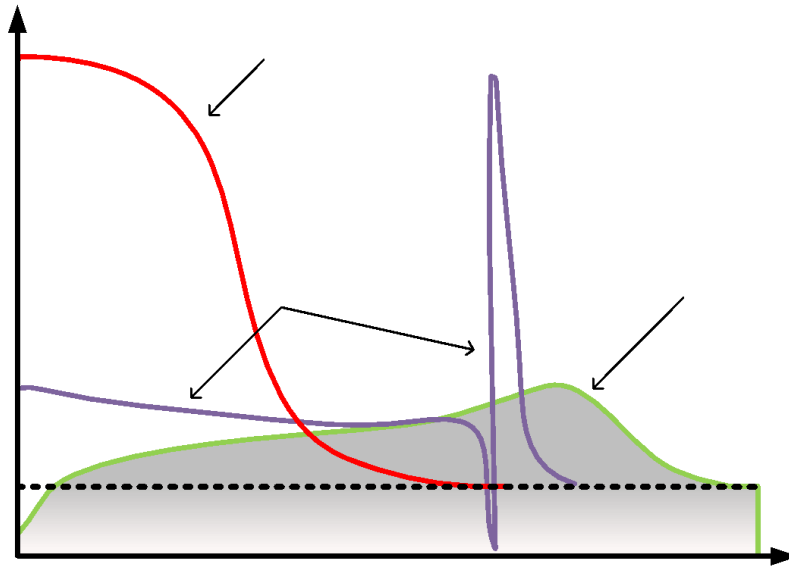


Рисунок 3.4 – Діаграма плавного пуску електродвигуна

Перетворення внутрішньої енергії: ППП використовуються для поступового пуску асинхронних електродвигунів, що передбачає поступове збільшення напруги або частоти для плавного старту. Під час цього процесу внутрішній електроніка ППП може виконувати перетворення енергії, що може призводити до спотворення струму та напруги та генерації вищих гармонік.

Неоднорідність споживачів електроенергії: Під час плавного пуску великих споживачів електроенергії, таких як електродвигуни, може виникати дисбаланс струму та напруги, що сприяє генерації вищих гармонік.

Неоднорідність інверторів і обладнання ППП: Якщо інвертори або електроніка в ППП мають нелінійні елементи, то це може призводити до генерації вищих гармонік.

Поширення гармонік у системі електропостачання: Вищі гармоніки, які генеруються внаслідок дії ППП, можуть поширюватися у системі електропостачання та взаємодіяти з іншими споживачами, що може призводити до появи вищих гармонік у загальній мережі.

3.1.6 Регульовані електроприводи

Регульовані електроприводи (РЕП) є важливим компонентом багатьох систем автоматизації та контролю, і вони можуть бути джерелами вищих гармонік у системах електропостачання. Ось деякі способи, якими це може відбуватися:

Пульсація струму та напруги: Регульовані електроприводи часто використовують інвертори для зміни частоти та напруги, щоб керувати швидкістю та обертовим моментом двигуна. Інвертори можуть використовувати широкодіапазонну модуляцію частоти (PWM) для керування струмом, і ця модуляція може генерувати вищі гармоніки у вихідному струмі та напрузі.[20,21]

Неоднорідність навантаження: РЕП часто використовуються для керування різними механізмами та системами. Нестабільні споживачі електроенергії, які керуються РЕП, можуть споживати струми зі спотвореними формами, що призводить до появи вищих гармонік.

Взаємодія з системою електропостачання: РЕП підключаються до системи електропостачання, і їхні вищі гармоніки можуть взаємодіяти з іншими споживачами в системі, що може призводити до поширення гармонік у всій мережі.

Верхні частоти керування: Деякі РЕП можуть працювати на високих частотах керування для досягнення високої якості управління. Це може сприяти генерації вищих гармонік.

3.2 Наслідки виникнення та вплив вищих гармонік струму в мережах електропостачання [22]

Нелінійні навантаження мають певний діапазон вищих гармонік через нестационарність навантаження струму. Це може призвести до шкідливих явищ у мережі з небажаними наслідками. 3.3.5.

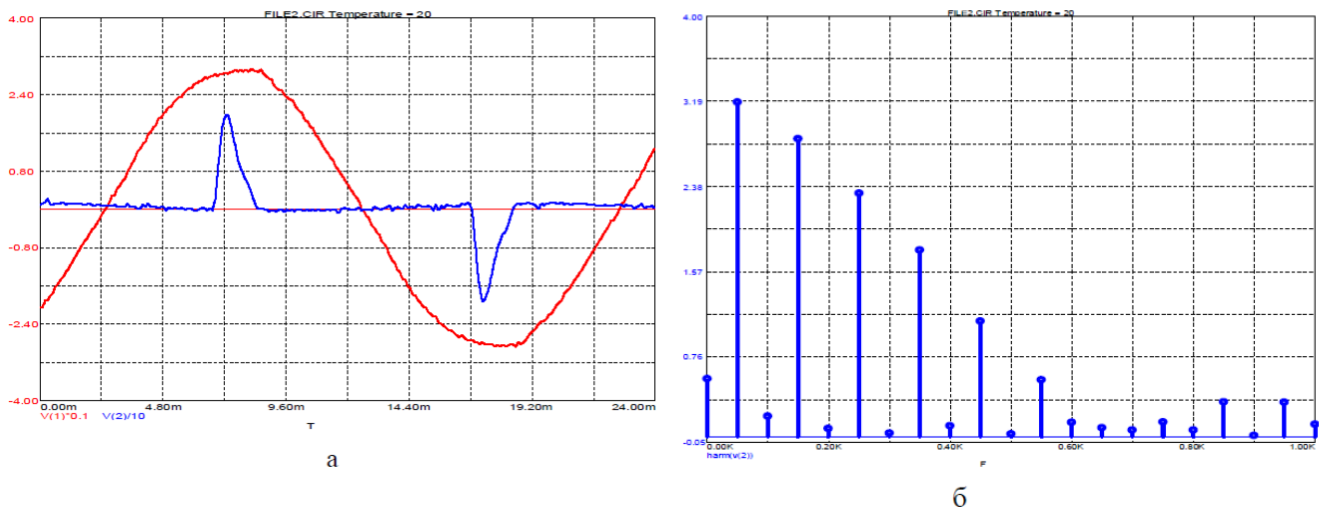


Рисунок 3.5 - Вплив нелінійних вбудованих джерел живлення електричних пристроїв на якість електричної енергії: а – напруга живлення та струм споживання; б– спектральний склад струму споживання.

Вищі гармоніки струмів та напруг в системі електропостачання можуть мати такі шкідливі наслідки:

- Зменшення температури та пошкодження нульового робочого провідника

Оскільки струм, що протікає через нульовий провідник в синусоїдних режимах, набагато менший, ніж фазний струм, більшість старих електромереж в Україні були розраховані для лінійних навантажень, з перетином нейтралі у половину перерізу фазного провідника [14]. Відомо, що навіть при симетричному навантаженні фазний струм вищих гармонік, кратних трьом, утворює систему нульової послідовності, при нелінійному навантаженні струм навантаження нульового провідника може майже в 1,73 рази перевищувати фазний струм. Величина та фаза цих елементів будуть однаковими з часом на кожній фазі. Таким чином, при нелінійних навантаженнях сила струму в нейтралі дорівнює потроєному гармонічному струму;

- Неправильна робота вимикачів і запобіжників. Порушення роботи захисних пристроїв через додатковий нагрів елементів захисного пристрою.

Збільшення робочої температури провідника зі струмом прискорює хімічний процес ізоляції, що прискорює старіння провідників і кабелів [15] Хімічні процеси в діелектрику прискорюються, коли робоча температура дроту зі струмом збільшується, що прискорює його старіння.

- Додаткові втрати електроенергії в трансформаторах. Активний опір R обмоток трансформатора і, отже, їх додатковий нагрів збільшуються за рахунок скін-ефекта та ефекту близькості, а вихрові струми в магнітопроводі трансформатора, які викликаються вищими гармоніками, що також призводить до додаткових втрат;

- Підвищений знос і передчасний вихід з ладу конденсаторів і та інших пристроїв компенсації реактивної потужності. Оскільки опір конденсатора обернено пропорційний частоті, конденсатор є частиною мережі, яка компенсує гармоніки всієї мережі. Оскільки характер опорів мережі є індуктивним, нелінійні частини мережі сприймають частину струму вищих гармонік. Збільшується ймовірність небажаних резонансних явищ через використання.;

- Несправності та проблеми в обчислювальних системах і системах телекомунікації. Збої відбуваються, коли лінії електропередач знаходяться досить близько до телекомунікаційних і комп'ютерних ліній, оскільки вищі гармоніки можуть створювати завади в телекомунікаційних кабелях та в лініях передачі даних.

- Зменшення допустимої потужності електроустановок споживачів. Зважаючи на те, що вищі гармоніки є реактивними, їх присутність у мережі збільшує частку реактивної потужності, що, у свою чергу, призводить до зниження коефіцієнта потужності та можливого передчасного виходу електричних машин з ладу.

На головні гармоніки впливають гармоніки напруги та струму, які впливають на все обладнання та установки, підключені до джерела живлення.

Гармоніки напруги можуть перешкоджати роботі керуючого обладнання електронних систем.

Електродинамічні сили, створені перехідними струмами з гармоніками, можуть спричинити вібрації та акустичні порушення, особливо в електромагнітному обладнанні (реактори, трансформатори тощо). Крім того, гармоніки можуть викликати коливання в обертових машинах.

Пристрої, що генерують струми вищих гармонік, спочатку з'явилися в промислових секторах економіки, а тепер і в побутових споживачів.

Типові «спотворювачі» навантаження включають силове електронне обладнання, таке як випрямлячі та інвертори, а також зварювальні апарати, печі, машини із змінною швидкістю, офісне обладнання, монітори та навіть обладнання, яке має тенденцію до насичення, таке як трансформатори.

У випадку великих гармонічних спотворень і викидів напруги нейтралі щодо потенціалу землі обладнання може вийти з ладу, що може призвести до простоїв і ремонту в розподільчій мережі.

У розділах 3.3 та 3.4 ми розглянемо вплив вищих гармонійних складових струму та напруги на втрати в силових трансформаторах та лініях електропостачання

3.3 Вплив нелінійних навантажень на втрати у трансформаторах

Трансформатори є найважливішим компонентом енергосистеми і є передавачем енергії між споживачами та постачальниками. В умовах постійно зростаючого попиту на електроенергію зростає кількість і потужність встановлених трансформаторів передачі й особливо розподільних трансформаторів. Однак, враховуючи те, що ККД цих компонентів становить 97-99%, не приділялося достатньо уваги величині втрат і продуктивності

трансформаторів. Розглядаючи велику кількість трансформаторів у мережах передачі та розподілу, можна побачити, що загальні втрати потужності цих компонентів є високими. Таким чином, будь-яке зменшення втрат трансформаторів значно зменшить загальні втрати електричної мережі, що призведе до оптимального використання енергетичних ресурсів і допоможе збереженню навколишнього середовища.

Короткий опис втрат трансформатора та гармонійного впливу на них наведено нижче:

Втрата без навантаження: втрата без навантаження або втрата в сердечнику виникає через змінний у часі характер електромагнітного потоку, що проходить через сердечник, і його розташування впливає на величину цих втрат. Оскільки розподільні трансформатори завжди знаходяться в експлуатації, враховуючи кількість трансформаторів цього типу в мережі, кількість втрат холостого ходу є високою, але постійною. Цей тип втрат викликаний явищем гістерезису та вихровими струмами в сердечнику. Ці втрати пропорційні частоті та максимальній щільності потоку сердечника та відокремлені від струму навантаження.

Втрати навантаження: втрати навантаження включають втрати постійного або струму Ома, вихрові втрати в обмотках та інші паразитні втрати, і їх можна отримати за допомогою випробування короткого замикання:

$$PLL = P_{de} + P_{Ec} + P_{osL} \quad (3.1)$$

У рівнянні вище:

P_{de} = втрати через опір обмоток;

P_{Ec} = втрати обмоток на вихрові струми;

P_{osL} = Інші випадкові втрати в структурних частинах трансформатора, таких як бак, затискачі.

Втрати Ома: ці втрати можна розрахувати шляхом вимірювання опору обмотки та струму навантаження. Якщо середньоквадратичне значення струму навантаження збільшується через гармонічну складову, ця втрата збільшиться

на квадрат середньоквадратичного струму навантаження. Втрати обмоток за умови гармоніки показано в рівнянні 3.2:

$$P_{dc} = R_{dc} \times I^2 = R_{dc} \times \sum_{h=1}^{h=h_{max}} I_{h,max}^2 \quad (3.2)$$

Втрати на вихрові струми в обмотках: ці втрати викликані змінним у часі електромагнітним потоком, який охоплює обмотки. Скін-ефект і ефект близькості є найважливішим явищем у створенні цих втрат.

Крім того, найбільша кількість втрат припадає на останній шар провідників в обмотці, що пов'язано з високою радіальною щільністю потоку в цій області.

Інші паразитні втрати: через зв'язок між електромагнітним потоком і провідником у провіднику виникає напруга, що призводить до виникнення вихрових струмів. Вихровий струм викликає втрати і підвищує температуру. Частина втрат на вихрові струми, що утворюються в конструктивних частинах трансформаторів (крім обмоток), називається іншими блукаючими втратами.

3.3.1 Результат розрахунку втрат силового трансформатора з урахуванням різних нелінійних навантажень [23]

Результат розрахунку взятий зі схожого за параметрами трансформатора. Основні параметри трансформатора наведені в таблиці 3.1. Розрахунок базується на реальних виміряних гармонічних струмах на клеммах НН трансформатора. Розглянуті (виміряні) гармонічні струми (гармоніки 1-25), що відносяться до струму 1-ї гармоніки, наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 - Номінальні параметри аналізованого силового

трансформатора

Найменування	Значення
Кількість фаз	3
Тип трансформатора	Сухий тип
Номінальна потужність (МВА)	1,25
Первинна номінальна напруга (кВ)	22
Вторинна номінальна напруга (кВ)	0.42
Напруга короткого замикання (%)	5,87
Струм холостого ходу (%)	0,256
Втрати при короткому замиканні (Вт)	9 954
Втрати на холостому ходу (Вт)	1 716
Опір постійного струму між двома високовольтними клемми (Ω)	2 352
Опір постійного струму між двома клемми низької напруги (Ω)	0,000719

Таблиця 3.2 - Виміряні значення гармонік струмів

Номер гармонік	Величина (%)
1	100
2	3.47
3	20.32
4	3.22
5	9.45
6	2.21
7	8.12
8	1.15
9	6.19
10	0.77
11	4.55
12	0.90
13	3.84
14	0.75
15	3.30
16	0.83
17	4.86
18	0.56
19	2.47

20	0.49
21	0.78
22	0.27
23	2.17
24	0.14
25	0.88

Є розраховані номінальні втрати з урахуванням лише 1-го гармоніки і з врахованими всіма гармоніками, наведені в таблиці 3.3. Сума номінальних втрат RI^2 , вихрових струмів та інших втрат дорівнює втратам при короткому замиканні (9954 Вт). Втрати холостого ходу постійні (1716 Вт) і не залежать від навантаження та гармонік. Загальні номінальні втрати з урахуванням гармонік згідно з таблицею 3.3 в 1,35 рази більші, ніж втрати з урахуванням лише 1-ї гармоніки.

Таблиця 3.3 - Номінальні втрати аналізованого силового трансформатора

Втрати (Вт)	Перша гармоніка	Усі гармоніки	Коефіцієнт гармонічних втрат
Втрати RI^2	6 980.8	7 484.4	1.0241
Вихро-струмові втрати	1 040.6	4 261.8	4.0955
Інші втрати блукаючих струмів	1 932.6	2 287.4	1.1836
Втрати навантаження	9 954	14 033.6	
Втрати холостого ходу	1 716	1 716	
Загальні втрати	11 670	15 749.6	

На рис. 3.6 і рис. 3.7 показано порівняння втрат активної потужності з урахуванням і без урахування гармонік залежно від величини навантаження трансформатора, 100% навантаження відповідає номінальним умовам. Зі збільшенням навантаження на трансформатор втрати навантаження (RI^2 , втрати на вихровий струм та інші блукаючі втрати) зросли, і втрати навантаження були нульовими при нульовому навантаженні.

Втрати холостого ходу збільшили загальні втрати на постійну величину 1716 Вт, рис. 3.7. Вплив гармонік найбільше проявився у випадку втрат на вихрові струми, які також характеризуються найвищим коефіцієнтом втрат

гармонік.

Різниця між загальними втратами з урахуванням і без урахування гармонік зростає зі збільшенням навантаження, у разі номінальних умов вона становила приблизно 4 кВт.

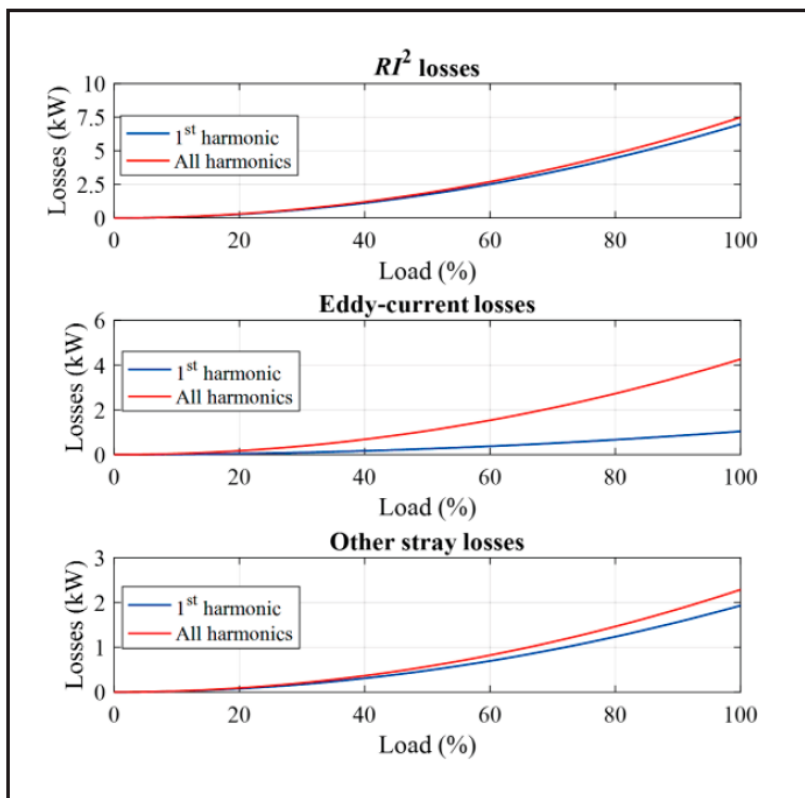


Рисунок 3.6 - RI^2 , вихрові струми та інші втрати вихрових струмів без врахування гармонік залежних від навантаження трансформатора

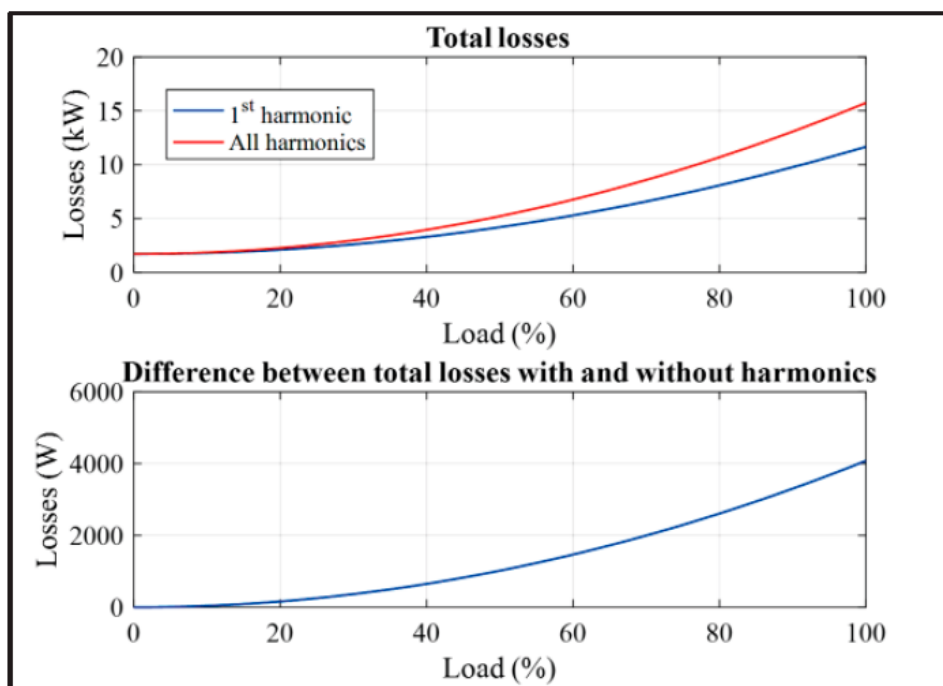


Рисунок 3.7 - Загальні втрати з урахуванням і без урахування гармонік в залежності від навантаження на трансформатор

Аналіз втрат за номінальних умов аналізованого розподільного трансформатора (100 % навантаження на трансформатор) призвів до різниці між загальними втратами з урахуванням і без урахування гармонік приблизно до 4 кВт, оскільки ефект гармонік пропорційний квадрату навантаження відносно номінального навантаження значення.

3.4 Вплив нелінійних навантажень на втрати у кабельних лініях[24]

Гармоніки струму та напруги в силових кабелях можуть спричинити значні додаткові втрати активної потужності в провідниках і ізоляційних матеріалах. Крім того, якщо ви не враховуєте ці фактори під час вибору типу та перерізу кабелю, це призведе до зменшення терміну служби кабелю.

У трифазних чотирипровідних системах це явище дуже шкідливе, оскільки струми гармонік, кратних трьом (нульова послідовність), підсумовуються в нейтральному провіднику. Наприклад, у нейтральному провіднику струм

третьої гармоніки становитиме 210 відсотків від фазового струму. Цей простий приклад добре показує важливість проблеми. Ураховуючи цю особливість і той факт, що робоча температура кабелів не повинна перевищувати температуру, яка значно впливає на термін служби кабелів, стає зрозумілим, чому проблема перевантаження нульового провідника настільки важлива та серйозна.

Протікання струму через провідник викликає втрати активної потужності в жилах силових кабелів. Активний опір провідника залежить від частоти, а дійове значення струму нелінійного навантаження містить вищі гармоніки. Однією з причин додаткової втрати потужності в кабельних лініях є залежність опору від частоти струму.

Тепла утворюється в результаті втрат потужності, коли струм проходить через провідник. У 1800-х роках Джоуль і Ленц спостерігали й описували це явище окремо, і це називалося теплом Джоуля-Ленца.

Рівняння для втрат тепла в провіднику задається:

$$\Delta P = RI^2, \quad (3.3)$$

де:

R – опір провідника, в [Ω],

I це середньоквадратичне поточне значення в [A].

Для несинусоїдального струму, що протікає в провіднику, розрахунок втрат потужності є більш складним, оскільки вимагає врахування скін-ефекту та ефекту близькості. Ефектом близькості можна знехтувати для досить великої відстані між кожною жилою кабелю або екранованими кабелями. Для спотвореного струму загальні втрати активної потужності в кабелі дорівнюють сумі втрат кожної гармонічної потужності струму і можуть бути виражені як:

$$\Delta P = \sum_{n=1}^{\infty} R_n (I_{\%n} \cdot I_{1h})^2, \quad (3.4)$$

де:

$I_1 h$ – амплітуда основної гармоніки струму,

$I\% n$ – відсоткове значення n-ї гармоніки.

R_n опір для будь-якої гармоніки можна розрахувати на основі поточної глибини проникнення. Відповідно до цього ми можемо розрахувати значення опору для кожної гармоніки струму:

$$R_n = l \gamma \cdot s_n, \quad (3.5)$$

де:

l це довжина дроту в [м],

s_n є еквівалентом площі поперечного перерізу, включаючи скін-ефект [мм²].

Проникнення електромагнітного поля в провідник на певну глибину називається скін-ефектом. У той же час скін-ефект збільшує опір провідника, оскільки струм протікає в основному в області скін-шару..

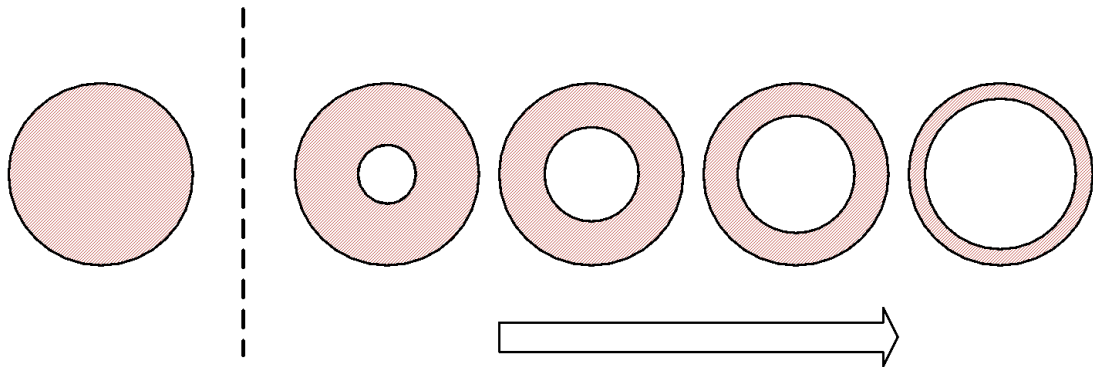


Рисунок 3.8 – Залежність скін-ефекту

Поверхневий ефект впливає на активний опір провідника змінного струму, оскільки струм у провіднику не протікає рівномірно через увесь поперечний переріз і його густина зростає, коли провідник наближається до поверхні. Струм витісняється ближче до поверхні провідника з вищою частотою. Основним джерелом поверхневого ефекту є вихрові струми електрорушійної сили, які викликаються електромагнітним полем основного струму в жилі кабелю.

Вихрові струми зменшують основний струм провідника в центрі, а збільшують його ближче до поверхні..

Ефект зближення є ще одним електромагнітним явищем, яке впливає на опір провідника. Він виникає, коли два чи більше провідники зближуються зі струмом. У найвіддаленіших частинах провідників найвища густина струму виникає, коли струми рухаються в одному напрямі. У найближчих частинах цих провідників буде найвища густина струму, якщо напрямок струму буде протилежним. Подібно до поверхневого ефекту, вихрові струми також спричиняють ефект зближення. Змінне магнітне поле, створене основним струмом в одному провіднику, індукує електрорушійну силу в іншому провіднику. Це спричиняє вихрові струми, які зменшують густину основного струму в одній частині провідника, а збільшують у протилежній частині. Силкові низьковольтні мережі зазвичай використовують чотирижильні кабелі. Це викликає магнітні поля різної інтенсивності в різних жилах, які залежать від розташування окремих жил у конструкції кабелю. Дослідження ефекту зближення, проведені на чотирижильних кабелях, показали, що збільшення опору жили, спричинене цим ефектом, було однаковим і інтенсивнішим у двофазних жилах, які прилягають до жили нульового проводу, і дещо меншим у жилах третьої фази.

Вплив зовнішньої броньованої захисної оболонки є наступним фактором, який впливає на втрату потужності кабельних ліній. Він полягає в тому, що електрорушійна сила в зовнішній броньованій оболонці кабелю індукується основним струмом у провіднику, що викликає вихрові струми, що призводить до додаткових втрат і підвищення температури кабелю. З цієї причини максимальне корисне навантаження кабельної лінії обмежується.

3.5 Вимоги нормативних документів щодо емс

Головним нормативним документом, що визначає вимоги до

електротехнічних пристроїв є технічний регламент щодо електричної та магнітної сумісності обладнання

Мета технічного регламенту ЕМС полягає в тому, щоб визначити стандарти електромагнітної сумісності обладнання, яке виробляється та використовується в Україні чи імпортується.

Якщо пристрій відповідає вимогам технічного регламенту ЕМС, він може бути випущений на ринок і/або введений в експлуатацію в Україні. Можна транспортувати та використовувати відповідно до свого конструктивного призначення в передбаченому електромагнітному середовищі.

На рисунку 3.6, показаний алгоритм визначення на першому етапі прийняття рішення про застосування технічного регламенту ЕМС, щоб визначити, чи підпадає пристрій під дію технічного регламенту ЕМС, і якщо так, то які процедури оцінки ЕМС необхідно виконати.

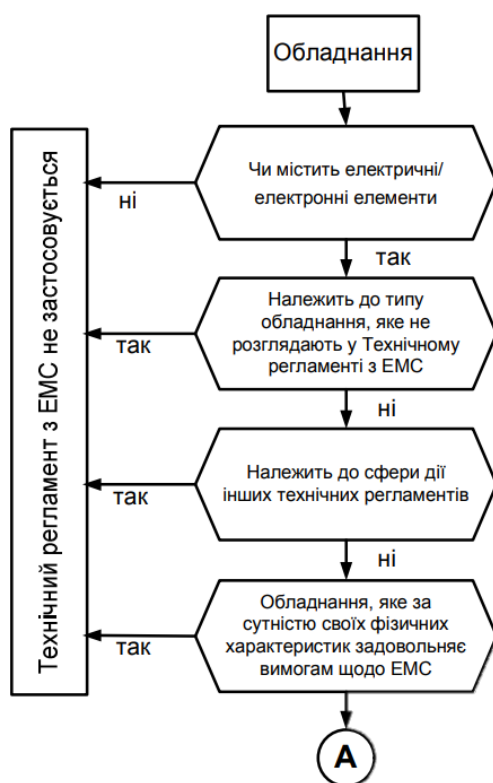


Рисунок 3.9 - Сфера застосування Технічного регламенту з ЕМС до обладнання

Технічний регламент ЕМС визначає загальні «основні вимоги» для всього

обладнання, на яке він поширюється, включаючи світильники та обладнання. Основні вимоги визначають результати, але не детальні технічні вимоги.

Основні вимоги до обладнання включають наступне:

А) Електромагнітні перешкоди, створені обладнанням, не повинні перевищувати рівня, дозволеного для нормальної роботи радіо- та телекомунікаційного чи іншого обладнання;

В) Стійкість обладнання до електромагнітних перешкод, які виникають під час передбачуваної експлуатації, має гарантувати, що воно працює належним чином.

Стаціонарне обладнання потребує додаткових вимог.

Для захисту державних і громадських інтересів необхідні вимоги, визначені основними вимогами.

Відповідність суттєвим вимогам має бути підтверджена для всього обладнання, що входить до сфери дії технічного регламенту ЕМС.

3.6 Методи зменшення гармонічних складових в струмах живлення напівпровідникових перетворювачів

Для зменшення вмісту вищих гармонік у струмах живлення, що спричинені наявністю силових напівпровідникових перетворювачів використовують пасивні та активні фільтри. Як пасивні, так і активні гармонічні фільтри запобігають гармонічним спотворенням в мережах живлення.

Пасивні фільтри призначені для систем, у яких необхідно зменшити гармонічні спотворення струму в певних межах.

Використання пасивних фільтрів зменшує теплові та електричні перевантаження, викликані гармонічними струмами, в установках, таких як моторні приводи зі змінною швидкістю, силові випрямлячі та інші нелінійні трифазні навантаження. Навантаження в системах кондиціонування повітря, очищення води, нафтовій галузі та загальних процесах промислової автоматизації є типовими прикладами.

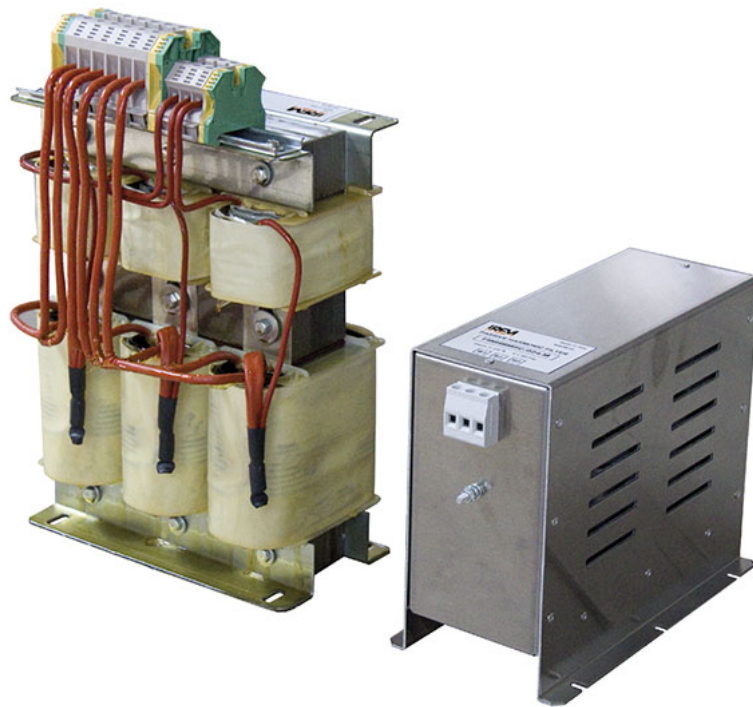


Рисунок 3.10 – Пасивний фільтр IREM

Пасивний фільтр є додатковим фільтром, який встановлюється на лінії електропередачі навантаження [17]. Фільтри складаються з комбінації котушки індуктивності і конденсатора. Продуктивність пасивних фільтрів гармонік серії IREM PHF дуже висока: вони зменшують гармонійні спотворення в струмі від 100% THDi до типових значень нижче 5%; фільтри складаються з конденсаторів, які утворюють резонансний контур з реактором, який має високий опір на основній частоті та низький опір на більш високих частотах.

Пасивні фільтри частіше підключаються до окремих навантажень у системі, а не до загальної точки зв'язку, оскільки їх застосування потребує постійного навантаження для ефективного зменшення гармонік.

Активні фільтри або «активні компенсатори гармонік» [18] видаляють гармоніки, створюючи зворотну форму сигналу, яка компенсує спотворення.

Незалежно від кількості навантажень і використання активні фільтри серії

АНФ забезпечують найкраще придушення гармонік. Ці фільтри розміщені таким чином, щоб видалити певну кількість гармонічного струму з системи, коли вони встановлюються паралельно мережі. Навантаження, доступні на складних промислових підприємствах; у плавильному, прокатному та зварювальному обладнанні; у нафтогазовому секторі; в енергетичних установках; у комерційних і житлових будівлях; у системах тунельної вентиляції; і в центрах обробки даних є кількома типовими прикладами.



Рисунок 3.11 – Активний фільтр IREM

Активний фільтр гармонік IREM, який виробляється в серії АНФ, виконує процес компенсації вмісту гармонік таким чином: гармонічний струм, створений навантаженням, постійно контролюється, і створюється відповідна форма сигналу, яка відповідає точній формі нелінійного струму навантаження. Компенсаційний струм вводиться в навантаження в точці підключення з часом відгуку п'ятдесят мілісекунд та п'ять мілісекунд. Ці фільтри відрізняються від пасивних фільтрів гармонік тим, що вони мають здатність послаблювати гармоніки до їх номінальної потужності за будь-яких умов навантаження.

Активні фільтри гармонік можна використовувати для кількох типів навантажень і працюють паралельно, компенсуючи вміст гармонік струму.

3.7 Висновки до розділу 3

У останні десятиліття характер навантаження електромереж зазнав суттєвих змін. Впровадження частотно-регульованих електроприводів, перетворювальних установок та електронних регуляторів частоти обертання двигунів призвело до значного зростання вищих гармонік струму в електромережах.

У найближчі роки потужність гармонік, що віддаються навантаженням до електромережі, буде зростати. Тому необхідно постійно контролювати гармоніки напруги та струмів, а також їхній вплив на електричні машини. Рівень гармонік повинен відповідати стандартам та вимогам експлуатації обладнання. Порушення допустимого рівня може призвести до перебоїв у роботі та відмов обладнання, таких як згоряння обмоток електродвигунів, непередбачувана вібрація та вихід з ладу підшипників електричних машин, а також хибні спрацьовування захисної апаратури.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

4.1 Техніко-економічний аналіз заходів з підвищення економії електроенергії на об'єкті

Перевірка ефективності встановлення засобів компенсації реактивної потужності (КРП) є доволі розповсюдженою задачею. На це вказує наявність на багатьох підприємствах великої частки реактивних навантажень (електроприводів, систем освітлення...).

Для виконання перевірки необхідно за однолінійною схемою системи електропостачання підприємства (рис. 4.1) скласти електричну схему заміщення (рис. 4.2).

На однолінійній схемі системи електропостачання ТОВ «ВКХП №2», показано: точку приєднання підприємства до підстанції енергосистеми напругою 10 кВ, ЦРП, три двотрансформаторні цехові підстанції, а також середньорічні активні ($P_{нс1} - P_{нс6}$) і реактивні навантаження цехів ($Q_{нс1} - Q_{нс6}$), які приєднані до цих трансформаторів. На схемі також показано запропоновані місця встановлення конденсаторних батарей ($Q_{к1} - Q_{к6}$).

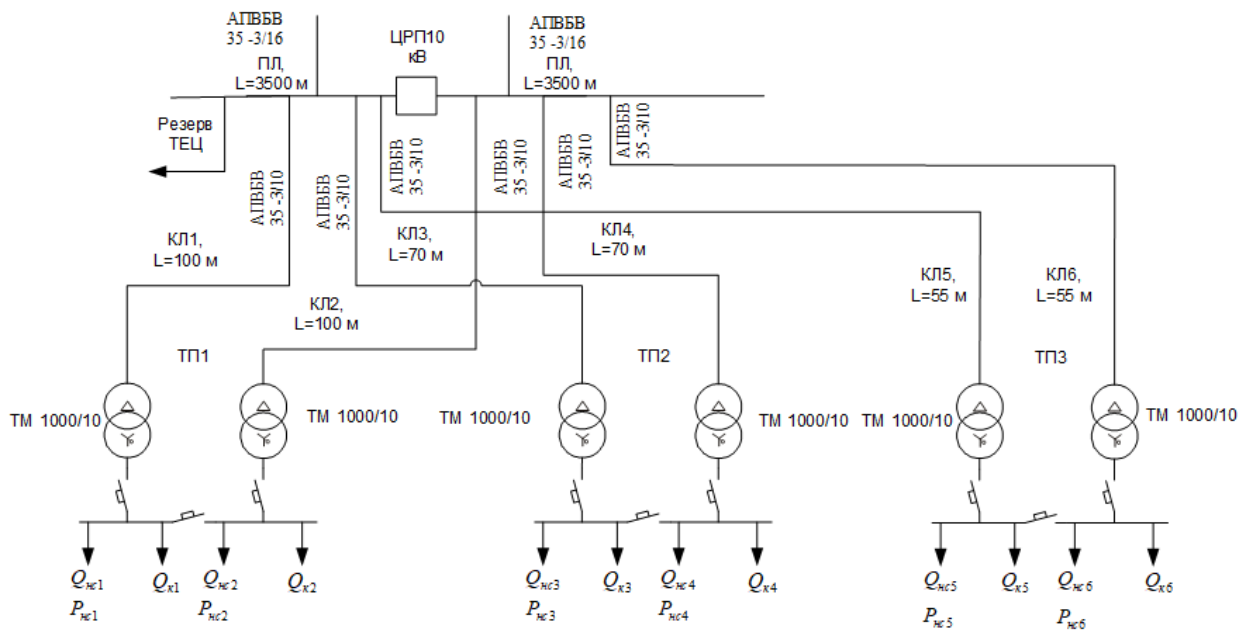


Рисунок 4.1 – Однолінійна схема системи електропостачання підприємства

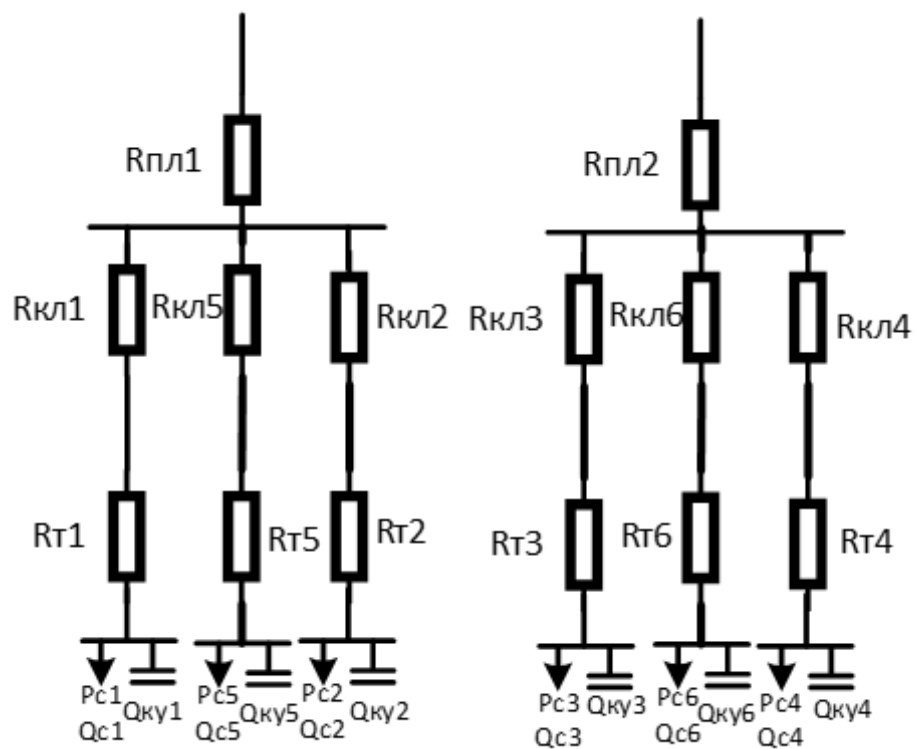


Рисунок 4.2 – Схема заміщення електричної мережі

Алгоритм перевірки наведений нижче.

1. Критерій ефективності використання компенсації реактивної потужності на підприємстві:

$$T = \frac{K}{E}, [\text{роки}] \quad (4.1)$$

де T – термін окупності системи КРП, років;

K – капіталовкладення в систему КРП, грн.;

E – економія коштів внаслідок встановлення системи КРП, грн.

2. Визначення економії коштів внаслідок встановлення системи КРП.

Економія коштів є різницею між витратами, що пов'язані з протіканням реактивної потужності по мережах підприємства до встановлення установок КРП ($V^{\text{до}}$) і після їх встановлення ($V^{\text{після}}$):

$$E = V^{\text{до}} - V^{\text{після}}, [\text{грн}] \quad (4.2)$$

Витрати до та після застосування конденсаторних установок містять такі складові:

$$V^{\text{до}} = V_{\text{втр}}^{\text{до}} + V_{\text{впр}}^{\text{до}}, [\text{грн}] \quad (4.3)$$

$$V^{\text{після}} = V_{\text{втр}}^{\text{після}} + V_{\text{впр}}^{\text{після}} + V_{\text{втр}}^{\text{БК}}, [\text{грн}] \quad (4.4)$$

де $V_{\text{втр}}^{\text{до}} = \sum_{i=1}^n W_i^{\text{до}} \cdot C_{\text{wa}}$, $V_{\text{втр}}^{\text{після}} = \sum_{i=1}^n W_i^{\text{після}} \cdot C_{\text{wa}}$ – вартість втрат активної

енергії в n елементах системи електропостачання (СЕР) (лініях і трансформаторах);

$\Delta W_i^{\text{до}}$, $\Delta W_i^{\text{після}}$ – втрати активної енергії в i -му елементі СЕР;

C_{wa} – тариф на електроенергію, грн./(кВт·год.);

$V_{\text{втр}}^{\text{БК}} = \sum_{j=1}^m W_j^{\text{БК}} \cdot C_{\text{wa}}$ – вартість втрат активної енергії в батареях статичних

конденсаторів компенсаційних установок;

$B_{wp}^{до}$, $B_{wp}^{після}$ – вартість перетоків реактивної електроенергії між енергопостачальною організацією та споживачем, що, згідно з [12], визначається за виразом:

$$B_{wp} = B_1 + B_2 - B_3, [\text{грн}] \quad (4.5)$$

В свою чергу складові виразу визначаються таким чином:

$$B_{\phi} = (W_p^{сп} + K \cdot W_p^{ген}) \cdot D \cdot C, [\text{грн}] \quad (4.6)$$

де $W_p^{сп}$ – споживана реактивна енергія в точці обліку, квар·год.;

$W_p^{ген}$ – генерована реактивна енергія в точці обліку, квар·год.;

$K = 3$ – нормативний коефіцієнт врахування збитків енергопостачальної організації від генерації реактивної електроенергії;

D – економічний еквівалент реактивної потужності, що характеризує вплив реактивного перетоку в точці обліку на втрати активної потужності в розрахунковому режимі, кВт/квар;

$$B_{\text{БАЗ}} = B_1 \cdot C_{\phi} \cdot (K - 1), [\text{грн}] \quad (4.7)$$

де B_2 – надбавка за недостатнє оснащення електричної мережі споживача засобами компенсації реактивної потужності, яка нараховується, якщо коефіцієнт реактивної потужності споживача в середньому за розрахунковий період

$\text{tg}\phi > 0,25$ – для промислових споживачів і $\text{tg}\phi > 0,75$ – для непромислових споживачів;

$C_{\text{БАЗ}} = 1,3$ – нормативне базове значення коефіцієнта стимулювання капітальних вкладень в засоби КРП в електричних мережах споживача;

K_{ϕ} – коефіцієнт, що визначається за виразами:

– для промислових споживачів:

$$K_{\phi} = (\operatorname{tg} \phi - 0,25)^2 + 1 \quad (4.8)$$

– для непромислових споживачів:

$$K_{\phi} = (\operatorname{tg} \phi - 0,75)^2 + 1 \quad (4.9)$$

Значення коефіцієнта реактивної потужності споживача в середньому за розрахунковий період визначається як відношення споживаних, відповідно, активної та реактивної електроенергії:

$$\operatorname{tg} \phi = W_p^{\text{сп}} / W_a^{\text{сп}} \quad (4.10)$$

Складова B_3 є зниженням плати за споживання та генерування реактивної електроенергії за умови достатнього оснащення електричної мережі споживача засобами КРП і узгодженням з енергопостачальною організацією.

Для визначення складових виразу (4.4) необхідно розрахувати втрати енергії в елементах системи електропередачі.

Відповідно до [26], втрати електроенергії в електричній мережі визначаються з використанням коефіцієнта форми графіка навантаження за струмом, що, значною мірою, враховує нерівномірність графіка навантаження:

$$\Delta W_{\text{вт}} = 3 k_{\phi}^2 \cdot Q_c^2 \cdot \text{кВТ/ГОД} \quad [\quad] \quad (4.11)$$

де $k_{\phi} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot t_i / \sum_{i=1}^n t_i}}{\sum_{i=1}^n I_i \cdot t_i / \sum_{i=1}^n t_i}$ – коефіцієнт форми графіка навантаження за

струмом, тут I_i – середній струм навантаження в i -му періоді вимірювання, який може вимірюватись або розраховується за виразом.

$$I_c = \frac{\sqrt{P_c^2 + Q_c^2}}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad [\quad] \quad (4.12)$$

тут P_c, Q_c – відповідно, середні активна та реактивна потужності навантаження, що живиться через елемент системи електропередачі (лінію чи трансформатор) за розрахунковий період T ;

U – напруга елемента лінії електропередачі, кВ.

I_c – середній струм, який може визначатись за виразом (4.12) або

$$I_c = \frac{\sqrt{W_a^2 + W_p^2}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot T}, [\quad] \quad (4.13)$$

Річні втрати електроенергії в трансформаторах визначаються за виразом [8–10]

$$\Delta W_{тр} = \Delta P_{xx} T_{тр} + \beta^2 \Delta P_{кз} T_{н}, \quad (4.14)$$

де ΔP_{xx} – втрати холостого ходу трансформатора, кВт;

$\Delta P_{кз}$ – втрати короткого замикання трансформатора, кВт;

$T_{тр}$ – час, протягом якого трансформатор приєднано до мережі, год.;

$T_{н}$ – час, протягом якого трансформатор працює під навантаженням, год.;

β – коефіцієнт завантаження трансформатора, квадрат якого за умов змінного навантаження визначається за виразом:

$$\beta^2 = \frac{k_{фа}^2 P_c^2 + k_{фр}^2 Q_c^2}{S_n^2}, \quad (4.15)$$

де $k_{фа}$ – коефіцієнт форми графіка активної потужності;

$k_{фр}$ – коефіцієнт форми графіка реактивної потужності;

P_c – середнє значення активної потужності за розрахунковий період;

Q_c – середнє значення реактивної потужності.

Величини P_c та Q_c визначаються для кожної лінії як суми середніх потужностей цехів (табл. 4.1), що живляться від конкретного трансформатора.

Таблиця 4.1 – Визначення середніх потужностей P_c і Q_c

Номер трансформатора	Номери цехів	P_c	Q_c
1	1,15	661,7	867
2	7,9,12	129,2	178
3	3	75	85
4	10,11,13,8	252,3	386
5	2,4	165	189
6	5,14,6	46,94	65

Розрахунок реалізовано з використанням електронних таблиць Excel (рис. 4.2 – 4.4). Під час розрахунку прийняті коефіцієнти форми графіків струму, активної та реактивної потужності, розраховані на основі зібраних статистичних даних.

Для більш точного розрахунку необхідно вибирати такі інтервали вимірювання, під час яких значення середніх потужностей наближаються до діючих.

Під час інтервалу вимірювання в 1 год. ці потужності дорівнюють значенню спожитої електроенергії. Тому їх можна легко отримати з використанням лічильників активної та реактивної енергії.

Значення I_i , як було вказано раніше, може визначатись на основі відомостей про значення величин P_{ci} , Q_{ci} на i -му інтервалі за формулами (4.12) або (4.13).

На рисунку 4.3 наведено розрахунок зниження вартості втрат електроенергії в трансформаторах за умови повної компенсації реактивної потужності ($Q_c = 0$) за допомогою електронних таблиць Excel.

На рисунку 4.4 наведено розрахунок зниження вартості втрат електроенергії в кабельних лініях за умови повної компенсації реактивної потужності ($Q_c = 0$).

dP _{xx} , кВт	dP _{кз} , кВт	S _n , кВА	P _c , кВт	Q _c , квар	T, год	k _{фа}	k _{фр}	C, грн/кВт*год.	Ввтр.до, грн	Ввтр.після, грн	Економія, грн
2,45	11	1000	661,7	867	8760	1,3	1,28	4	845753,9	306672,7	539081
2,45	11	1000	129,2	178	8760	1,31	1,29	4	117211,9	32503,4	84708
2,45	11	1000	75	85	8760	1,28	1,27	4	93891,8	25014,2	68878
2,45	11	1000	252,3	386	8760	1,33	1,3	4	226303,5	64862,5	161441
2,45	11	1000	165	189	8760	1,33	1,3	4	127678,6	40024,1	87654
2,45	11	1000	46,94	65	8760	1,33	1,3	4	90102,4	22964,3	67138
трансформаторах											1008901,0

Рисунок 4.3 – Визначення вартості зниження втрат електроенергії в трансформаторах підприємства

	k _{фдо}	k _{фпі} сля	P _c , кВт	Q _c , квар	T, год	U, кВ	I, км	R ₀ , Ом/км	C, грн/кВт*год.	Ввтр.до, грн	Ввтр.піс ля, грн	Економія, грн
Кл1	1,29	1,28	661,7	867	8760	10	0,1	1,75	4	121383,3	43989,0	77394,3
Кл2	1,28	1,27	129,2	178	8760	10	0,1	1,75	4	4860,2	1651,0	3209,3
Кл3	1,28	1,27	75	85	8760	10	0,07	1,23	4	632,6	272,6	360,0
Кл4	1,28	1,27	252,3	386	8760	10	0,07	1,23	4	10468,5	3084,9	7383,6
Кл5	1,28	1,27	165	189	8760	10	0,055	0,96	4	1913,0	814,5	1098,5
Кл6	1,28	1,27	46,94	65	8760	10	0,055	0,96	4	195,4	65,9	129,4
Всього по Кл												89575,2

Рисунок 4.4 – Визначення вартості зниження втрат електроенергії в кабельних лініях підприємства

При розрахунку зниження втрат електроенергії в кабельних лініях слід звернути увагу, що коефіцієнт $k_{фл}$, який визначається на основі даних про P_{ci} , Q_{ci} , може дещо відрізнятись до і після компенсації. Це пояснюється тим, що після компенсації реактивної потужності величини Q_{ci} будуть меншими, ніж до компенсації.

Для обрахунку вартості втрат через вплив нелінійних навантажень в трансформаторі використаємо графік загальних втрат трансформатора з наукової частини див. рис. 3.8.

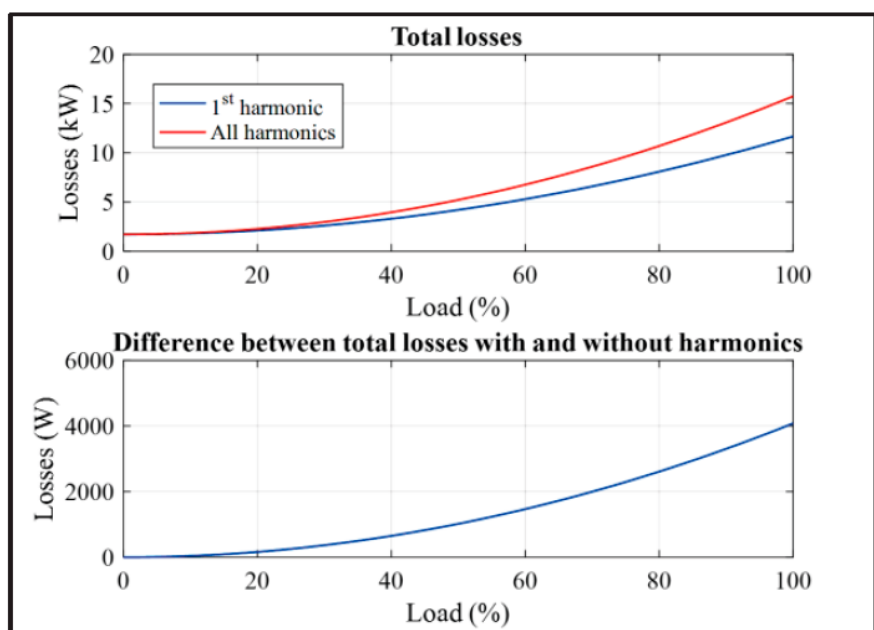


Рисунок 3.8 - Загальні втрати з урахуванням і без урахування гармонік в залежності від навантаження на трансформатор

З графіку ми бачимо що вплив вищих гармонік призвів до різниці між загальними втратами з урахуванням і без урахування гармонік приблизно до 4 кВт, тобто якщо взяти втрати з попередніх таблиць $P_c = 661,7$ та врахувати що втрати у приведеному трансформаторі склали 4 кВт. Щоб дізнатись які втрати через вищі гармоніки будуть на нашому підприємстві ми повинні скористатись пропорцією або помножити значення потужності на поправковий коефіцієнт 0,75.

На рисунку 4.5 наведено розрахунок зниження вартості втрат електроенергії в трансформаторах за умови використання активних фільтрів (коефіцієнт k_F), за допомогою електронних таблиць Excel.

dP _{хх} , кВт	dP _{кз} , кВт	S _н , кВА	P _g	Q _g	T, год	k _{фа}	k _F	C, грн/кВт*год.	Ввтр.до, грн	Ввтр.після, грн	Економія, грн
2,45	11	1000	496,3	650,3	8760	1,3	1,4	4	565707,4	181893,0	383814
2,45	11	1000	96,9	133,5	8760	1,31	1,28	4	103313,6	27672,8	75641
2,45	11	1000	56,3	63,8	8760	1,28	1,1	4	89741,5	23460,1	66281
2,45	11	1000	189,2	289,5	8760	1,33	1,38	4	171780,2	45874,8	125905
2,45	11	1000	123,8	141,8	8760	1,33	1,3	4	109377,7	31903,2	77474
2,45	11	1000	35,2	48,8	8760	1,33	1,14	4	87883,5	22307,0	65576
трансформаторах											794693,0

Рисунок 4.5 – Визначення вартості зниження втрат електроенергії в трансформаторах підприємства використовуючи активні фільтри

На рисунку 4.6 наведено розрахунок оплати за спожиту реактивну енергію підприємством. За умови повної компенсації ця величина дорівнюватиме економії підприємства, що пов'язана зі зниженням споживання реактивної енергії.

W _{асп} , кВт*год	W _{рсп} , квар*год	tgφ	D, кВт/квар	C, грн/кВт*год.	С _{баз}	B1, грн	B2, грн	BW _р , грн
16334567	1289100	0,75	0,3	4	1,3	1546920	502749	2049669
Повна економія внаслідок КРП			2049669					

Рисунок 4.6 – Визначення величини зниження оплати за електроенергію підприємством внаслідок КРП

Підсумовуючи результати розрахунків, що наведені на рис. 4.2 – 4.4, отримуємо прогнозоване значення повної економії підприємства внаслідок КРП 3148145,132 грн.

Враховуючи результати попереднього аналізу заходів з енергозбереження, термін окупності компенсувальних пристроїв очікується таким, що дорівнює

$$T = \frac{B_{кв}}{C} = \frac{1400000}{3148145,1} = 0,44 \quad (\text{року}), \quad (4.16)$$

і це є допустимим. Після закінчення терміну окупності і за подібного характеру енергоспоживання підприємство внаслідок КРП буде економити понад 1000000 грн. в рік.

Перевірка ефективності системи інфрачервоного опалення приміщень підприємства.

На підприємстві в цехах організоване водяне опалення. За умов неповного завантаження виробничих площ частина тепла витрачається нераціонально, тому що здійснюється обігрів усього корпусу, а не лише робочих місць.

Пропонується в цехах, замість існуючої системи опалення встановити над робочими місцями системи інфрачервоного опалення, які повинні відповідати вимогам, викладеним у [27]. Запропоновані системи мають ряд переваг у порівнянні з традиційними системами [27,28]:

- обігрівають в першу чергу людей і предмети;
- забезпечують корисний, екологічно чистий та економічний обігрів;
- прогрівають необхідні ділянки в приміщенні;
- ідеально підходять для використання в місцях, де необхідний тимчасовий обігрів;
- зігрівають людей навіть у відкритих приміщеннях та у вітряну погоду;
- обігрівають важкодоступні ділянки; забезпечують швидку передачу тепла (до 30 секунд);
- вітер і протяги не впливають на обігрів;
- тепло можна подавати направлено;
- прості в експлуатації;
- не мають неприємних та шкідливих запахів;
- працюють безшумно;
- не сушать повітря;
- не викликають головного болю;
- не знижують рівень кисню в приміщенні;
- у порівнянні з іншими системами обігріву безпечні щодо можливості отруєння і займання;
- перешкоджають появі мікроорганізмів і бактерій;
- забезпечують економію паливно-енергетичних ресурсів;
- дозволяють організацію чергового опалення в неробочий час і вихідні дні;

За даними підприємства на потреби опалення та вентиляції в цехах протягом 2021 р. було витрачено $V_z = 394,105$ тис. м³ природного газу.

Пропонується над робочою зоною цеху встановити 20 промислових інфрачервоних обігрівачів ERGO HI фірми UFO потужністю 2 кВт і вартістю $B_n = 2700$ грн. кожний. В черговому режимі такий обігрівач може мати мінімальну потужність 0,5 кВт.

З урахуванням чергового режиму, що потребує 30% витрат електроенергії основного режиму, споживання електроенергії в опалювальний період складе:

$$W = n \cdot (P_1 \cdot t_1 \cdot 100 + P_2 \cdot t_2 \cdot 100 + P_2 \cdot 24 \cdot 50), [\text{кВт} \cdot \text{год}] \quad (4.17)$$

де n – кількість обігрівачів;

P_1, P_2 – потужності нагрівача в основному та черговому режимах;

$t_1, t_2, 24$ – час роботи опалювальної системи відповідно в основному, черговому режимі в робочі дні і черговому режимі у вихідні дні, годин;

100, 0 – кількість робочих і вихідних днів в опалювальному періоді;

$$W = 20 \cdot (2 \cdot 20 \cdot 150 + 0.5 \cdot 4 \cdot 150 + 0.5 \cdot 24 \cdot 0) = 126000, (\text{кВт} \cdot \text{год}). \quad (4.18)$$

Річна економія витрат, грн

$$E = V_g \cdot C_g - W \cdot C_w, [\text{грн}] \quad (4.19)$$

де C_g, C_w – тарифи на газ та електроенергію, відповідно грн./тис. м³ та грн./(кВт·год.).

$$E = 394105 \cdot 2.9 - 126000 \cdot 4 = 638904,5 (\text{грн}). \quad (4.20)$$

Вартість устаткування:

$$B_y = n \cdot B_n = 20 \cdot 2700 = 54000 (\text{грн}). \quad (4.21)$$

Витрати на введення в експлуатацію (вартість проекту, транспортування, монтажу) приймаємо в розмірі $B_{np.m.} = 40000$ грн. Загальні витрати:

$$K = B_y + B_{np.m.} = 54000 + 40000 = 94000 (\text{грн}). \quad (4.22)$$

Оцінка простої окупності:

$$T = \frac{K}{E_{\text{випр}}} = \frac{94000}{638904,5} = 0,147 \quad (\text{року}). \quad (4.23)$$

Таким чином, оскільки термін окупності невеликий, використання інфрачервоних обігрівачів може бути ефективним і давати економію коштів підприємства більшу, ніж 600 тис. гривень щороку.

4.2 Перевірка ефективності системи освітлення

Системи освітлення – системи з використанням електроенергії. Енергозбереження можливе шляхом оптимізації розрахунку системи освітлення, використання більш ефективних джерел світла, використання систем керування освітленням, організаційних заходів та ін.

Актуальність проведення аудиту зумовлена великою часткою освітлювального навантаження на підприємстві, що досліджується.

Хід побудови математичної моделі перевірки ефективності заходу з енергозбереження наводиться нижче.

Пропонується показник ефективності – значення приведеної річної економії коштів, що визначається за виразом:

$$E_p = \frac{V^{Л1} - V^{Л2}}{T_{\text{роз}}} \rightarrow \max, \quad (4.24)$$

де $V^{Л1}$, $V^{Л2}$ – витрати, що пов'язані з використанням відповідно працюючої і альтернативної ламп за розрахунковий період, грн.;

$T_{\text{роз}}$ – розрахунковий період, за який розраховуються витрати в системі освітлення, років:

$$T_{\text{роз}} = \frac{T_{\text{макс}}}{T_p}, [\text{років}] \quad (4.25)$$

де $T_{\text{макс}}$ – найбільший термін служби порівнюваних ламп, год.;

T_p – річний час роботи системи освітлення, год./рік.

Витрати на діючу систему освітлення за розрахунковий період:

$$W_{\text{кр}}^{\text{ДЛ}} = \left(\left\{ \frac{T_{\text{макс}} - T_{\text{зал}}}{T_{\text{Л}}} \right\} T_{\text{Л}} + K_{\text{Л}} + P_{\text{Лн}} \cdot B_{\text{макс}} \cdot n \cdot W_{\text{грн}} \right) \cdot \text{ЛКВ} \quad [\quad] \quad (4.26)$$

де $\langle \rangle$ – символ, що означає округлення результату у фігурних дужках до більшого цілого;

$T_{\text{Л}}$ – номінальний термін служби ламп, система освітлення з використанням яких аналізується, год.;

$T_{\text{зал}}$ – залишковий термін роботи діючої лампи до її заміни, год.;

$K_{\text{Л}}$ – вартість лампи, грн.;

$P_{\text{Лн}}$ – номінальна потужність лампи, кВт.;

B_{w} – тариф на електроенергію, грн./кВт·год.;

n – кількість ламп даного типу в системі освітлення.

Витрати на альтернативну систему освітлення за розрахунковий період:

$$W^{\text{Л2}} = \left(\frac{T_{\text{макс}} - T_{\text{зал}}}{T_{\text{Л}}} \cdot K_{\text{Л}} + P_{\text{Лн}} \cdot B_{\text{макс}} \cdot W \right) \cdot \text{ЛКВ} \quad [\quad] \quad (4.27)$$

де $K_{\text{ЛКВ}}$ – ліквідна вартість ламп діючої системи освітлення.

Система зовнішнього освітлення на ТОВ «ВКХП №2» складається з 41 ртутних ламп потужністю 250 Вт кожна. Середній річний час роботи системи освітлення складає $T_{\text{р}} = 2500$ год. Тариф на активну електроенергію $B_{\text{w}} = 4$ грн./(кВт·год.).

Пропонується замінити ртутні лампи на натрієві. Світлова віддача натрієвих ламп майже в два рази вища, ніж у ртутних. Для заміни ртутних ламп потужністю 250 Вт необхідно встановити натрієві потужністю 150 Вт. Характеристики обох видів ламп наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Порівняльні характеристики дугових ртутних ламп (ДРЛ) і натрієвих ламп

Лампа	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Термін служби, год.	Цоколь	Ціна, грн.
ДРЛ	250	13000	6000	E40	202
Натрієв а	150	15000	12000	E40	170

Серед двох типів ламп, які досліджуються, найбільший строк служби є у натрієвої лампи. Тому $T_{\max} = 12000$ год.

Лампи ДРЛ вже працювали 4 000 год., тому залишковий термін роботи до їх заміни приймаємо $T_{\text{зал}} = 6000 - 4000 = 2000$ (год).

Витрати на систему освітлення з лампами ДРЛ за розрахунковий період, згідно з [27],

$$B_{\text{ДРЛ}} = \left(\text{Окр} > \left\{ \frac{12000-2000}{6000} \right\} \cdot 202 + 250 \cdot 10^{-3} \cdot 12000 \cdot 4 \right) \cdot 30 = 370100 \text{ (грн.)}, \quad (4.28)$$

а з натрієвими лампами, згідно з (21) :

$$B_{\text{НЛ}} = \left(\frac{12000}{12000} \cdot 170 + 150 \cdot 10^{-3} \cdot 12000 \cdot 4 \right) \cdot 30 = 221100 \text{ (грн.)}, \quad (4.29)$$

Розрахунковий період визначення витрат в системі освітлення:

$$T_{\text{роз}} = \frac{12000}{2500} = 4,8 \text{ (року)}. \quad (4.30)$$

Отже, витрати, розраховані за виразами (20), (21), визначені за період в 4,8 року. Це справедливо за припущення, що всі лампи працюють точно визначений термін роботи. Реальні показники роботи можуть відрізнятись, тому розрахунки за таким принципом є наближеними.

За виразом (18) визначимо приведену до одного року економію коштів внаслідок заміни в системі освітлення ламп ДРЛ на натрієві

$$E_p = \frac{370100 - 221100}{4,8} = 31041 \text{ (грн.)}. \quad (4.31)$$

Простий термін окупності модернізованої системи освітлення

$$T = \frac{K_{\text{нл}} \cdot n}{E_p} = \frac{150 \cdot 30}{31041} = 0,14 \text{ (року)}. \quad (4.32)$$

Таким чином, оскільки річна економія коштів внаслідок модернізації системи освітлення дорівнює більше 9 тис. грн., а термін окупності капіталовкладень складає 0,6 року, модернізація системи освітлення шляхом заміни ламп ДРЛ на натрієві є ефективною.

Аналогічним чином було проведено аналіз заміни ламп розжарення на люмінесцентні.

4.3 Висновок до розділу 4

В результаті аналізу використання енергетичних ресурсів на підприємстві остаточно було сформовано такі рекомендації з енергозбереження:

–встановлення засобів компенсації реактивної потужності, що зумовлено наявністю асинхронних двигунів, які є споживачами значної кількості активної та реактивної потужностей на підприємстві та високою вартістю активної потужності;

–встановлення активних фільтрів для зменшення та не допускання нелінійних навантажень на підприємстві;

–заміна ртутних ламп на натрієві, а також ламп розжарення на більш економічні, що зумовлено значною питомою потужністю системи освітлення, а також тривалістю роботи останньої;

Після поглибленого аналізу запропонованих заходів з енергозбереження було встановлено:

1. Застосування КУ на підприємстві є ефективним заходом з економії електроенергії, що окупиться менше ніж за 0,3 року і приведе до щорічної

економії коштів підприємства більше 2 млн. грн.

2. Використання інфрачервоних обігрівачів може бути ефективним і приводити до економії коштів підприємства більше, ніж 600 тис. гривень щороку.

3. Заміна ламп ДРЛ зовнішнього освітлення на натрієві приведе до річної економії коштів понад 31 тис. грн. при терміні окупності капіталовкладень 0,14 року.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У цьому розділі магістерської дипломної роботи розробляються заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях під час аналізу втрат електричної енергії, що зумовлені використанням перетворювачів частоти, в мережах Товариства з обмеженою відповідальністю «Вінницький комбінат хлібопродуктів № 2». На електротехнічний технологічний персонал, який здійснює реконструкцію та обслуговування електрообладнання даного об'єкта, впливають наступні небезпечні та шкідливі виробничі фактори [29, 30].

Фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо).

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил).

Фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або

фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць в пожежонебезпечних зонах

Вимоги поширюються на електроустановки, що розміщуються в пожежонебезпечних зонах всередині і зовні приміщень [32,33]. До експлуатації в пожежонебезпечних зонах допускається електрообладнання, що відповідає вимогам з урахуванням показників пожежо- вибухонебезпеки матеріалів (рідин, пилу, волокон).

Електрообладнання з частинами, що іскрять під час нормальної роботи або нагріваються понад небезпечні температури (тобто є імовірними джерелами займання) рекомендується встановлювати поза межами пожежонебезпечних зон. Для забезпечення ступеня захисту оболонки електрообладнання від проникнення пилу на рівні IP54, кришки, інші з'ємні частини оболонки і місця вводу кабелів слід ущільнювати за допомогою еластичних (гумових) прокладок, ущільнювальних кілець, сальників тощо.

Відкриті частини електричних машин, які нормально іскрять (наприклад, контактні кільця), слід розташовувати на відстані не менше 1 м від місць розміщення горючих матеріалів, або відокремлювати від них екраном з негорючого матеріалу. Переносні електричні ручні машини (електрифікований інструмент), які застосовуються в пожежонебезпечних зонах, повинні мати ступінь захисту оболонки не менше IP44.

Електроустановки в пожежонебезпечних зонах будь-яких класів в разі необхідності повинні мати апарати, що відключають частково або повністю

технологічне і сантехнічне устаткування у випадках аварій і пожеж. Обсяг відключення визначається технологами і сантехніками проектної організації і спеціалістами служб охорони праці, з урахуванням особливостей технологічного процесу.

При використанні електронагрівальних приладів їх робочі частини, які нагріваються, слід захищати від контакту з горючими речовинами, а самі прилади встановлювати на поверхні із негорючих матеріалів і відділяти від горючих речовин екранами.

В пожежонебезпечних зонах всіх класів рекомендується використовувати силові і освітлювальні розподільчі пункти, що мають ступінь захисту оболонок IP54. Електрообладнання вантажопідіймальних механізмів (кранів, талей тощо), котрі перебувають в пожежонебезпечних зонах і зв'язані з технологічним процесом, повинне мати ступінь захисту оболонок згідно з [32, 33] (як для пересувних механізмів).

В пожежонебезпечних зонах слід використовувати світильники, що мають ступінь захисту не менший, ніж IP44. Світильники з лампами розжарювання не повинні мати відбивачів і розсіювачів з горючих матеріалів. В разі встановлення світильників, що не мають штепсельних роз'ємів, на металевих кронштейнах (стійках), заземлення кронштейна слід забезпечувати жорстким кріпленням до нього заземленого металевого корпусу. В свою чергу, заземлення корпусу світильника слід виконати за допомогою перемички між заземлювальним і нульовим затискачами всередині ввідного пристрою світильника.

Складські приміщення з пожежонебезпечними зонами будь-якого класу, які замикаються, повинні мати апарати для відключення іззовні силових і освітлювальних мереж незалежно від наявності апаратів для відключення всередині приміщень. В пожежонебезпечних зонах будь-якого класу складських приміщень забороняється застосування електронагрівальних приладів.

В пожежонебезпечних зонах всіх класів крім захисту від струмів КЗ провідники освітлювальних мереж слід захищати від перевантажень. Крім того,

від перевантажень слід захищати силові мережі, які прокладаються в пожежонебезпечних зонах складських приміщень, і в інших випадках, якщо перевантаження може виникнути за умовами технологічного процесу. В пожежонебезпечних зонах будь-якого класу кабелі і проводи повинні мати покриття і оболонку з матеріалів, що не розповсюджують горіння.

5.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання підприємства та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – особливо небезпечні, так як виконуються назовні.

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

– розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

– використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;

– підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

– персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Використовуються основні та додаткові електрозахисні засоби до 1000В. Основні: ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками; додаткові: діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Є неприпустимим:

– експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками;

– застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам до переносних електропроводок;

– застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;

– користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання.

– підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);

– використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів". Для підключення переносної електроапаратури застосовують гнучкі проводи в надійній ізоляції.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1. Мікроклімат

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони [34]. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні, де встановлена лінія, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Нормування параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Iб	22-28	55 при 28°С	0,1-0,2
Холодний	Iб	21-25	75 при 25°С	Не більше 0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці технологічного персоналу передбачається [35]: в холодну пору року використання калорифера; в літню пору застосування вентиляторів обдуву; провітрювання приміщення.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м [34]. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони оператора лінії

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0.5	0.15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено [35]: провітрювання приміщення; цілісність вікон для перешкоджання попадання пилу в приміщення під час роботи лінії; встановлення пиловловлюючих засобів.

5.2.3. Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – середньої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [36] розряд зорової роботи IV, підрозряд «г».

Таблиця 3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Х-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Х-ка фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	г	середній великий великий	світлий світлий середній	-	200	4	2,4

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним чином, світлодіодні лампи, що обумовлюється наступними перевагами: високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів).

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості. При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

5.2.4. Виробничий шум

Нормативним документом [37], який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» (таблиця 4).

Таблиця 4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація». Для зниження шуму в приміщенні, необхідно: безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі; для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

5.2.5 Виробничі вібрації

Вібрацією називають механічні коливання пружних тіл або систем, коли відбувається переміщення центра їх ваги в просторі відносно статичного стану. Загальна вібрація передається на тіло через опорні поверхні людини, що стоїть чи сидить (підшви ніг або сідниці). Допустимі рівні загальної вібрації на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 32.23-85 [10] і наведені в таблиці 5.5.

Основними методами колективного віброзахисту є зниження вібрації шляхом дії на джерело виникнення: відстрочка від режиму резонанс; динамічне

гасіння коливань, заміна конструктивних елементів уставок і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого.

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	$\frac{1,3}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	-	-	-	-

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с 10^{-2} , знаменнику - логарифмічні рівні вібрації, дБ.

5.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори визначаються відповідно до Гігієнічної класифікації праці [29]. Робота монтажника будівельних конструкцій потребує великих фізичних зусиль за важкістю та напруженістю праці.

1. Клас умов праці за показниками важкості праці – допустимий (середньої важкості): загальні енергозатрати організму (кґ/м) – до 290; зовнішнє фізичнє динамічнє навантаженнє, вираженє в одиницях механічної роботи за зміну, кґ/(Вт): при регіональному навантаженні (для чоловіків) – 13000; при загальному навантаженні (за участю м’язів рук, тулуба, ніг) – до 44000; маса вантажу, що постійно підіймається та переміщується вручну, кґ – до 30 кґ; стереотипні робочі рухи: при локальному навантаженні (участь м’язів кистей та пальців рук)- до 40000; при регіональному навантаженні(участь рук та плечового суглоба) – до 20000; статичнє навантаженнє (кґ/с): двома руками (чоловіки) – до 70000; за участю м’язів тулуба та ніг – до 100 000; робоча поза: періодичнє перебуваннє в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуваннєм кінцівок) та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаємнє розташуваннє різних частин тіла відносно одна одної) до 25% часу

зміни; перебування у вимушеній позі до 10%, в позі «стоячи» – до 60% часу зміни; нахил тулуба: вимушені нахили протягом зміни – 51-100 разів; переміщення у просторі (переходи через виконання технологічного процесу) – по горизонталі більше 8, вертикалі – 4 км.

2. Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження: зміст роботи – рішення складних завдань з вибором за алгоритмом (робота за серією інструкцій); сприймання сигналів з наступним порівнянням фактичних значень параметрів з їх номінальними значеннями. Заключна оцінка фактичних значень параметрів; обробка, перевірка і контроль за виконанням завдання; робота в умовах дефіциту часу.

Сенсорні навантаження: зосередження (%за зміну) – 51-75; щільність сигналів (звукові за 1 год) – 151-300; навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25.

Емоційне навантаження: ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість допоміжних робіт (завдань). Вимагає додаткових зусиль з боку керівництва (бригадира, майстра тощо).

Режим праці: тривалість робочого дня – 8 год; змінність роботи – двозмінна (без нічної зміни).

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях.

Дослідження безпеки роботи фільтрів вищих гармонік в умовах впливу загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Система керування (фільтрів гармонік) може використовуватися в будь-який час, як у мирний, так і в особливий період. На її роботу можуть негативно впливати надзвичайні ситуації (НС) різного типу. До таких НС відносяться стихійні лиха (повені, шторми, блискавки, урагани, зливи, ожеледиця), іонізуюче випромінювання, електромагнітне випромінювання

(ЕМІ) та інші. Тому для забезпечення надійної роботи системи КУ необхідно забезпечити її захист від усіх можливих НС.

Радіація може викликати в апаратурі фільтрів вищих гармонік як зворотні, так і незворотні процеси. Зворотні процеси можуть призвести до порушення роботи елементів схеми, а незворотні - до пошкодження вузлів. Іонізуюче випромінювання може змінити всі електричні та експлуатаційні характеристики елементної бази системи.

Вплив ЕМІ на обладнання залежить від амплітуди наведеного імпульсу напруги чи струму та електричної міцності обладнання. ЕМІ може викликати пробиття ізоляції, випалення елементів електросхем, коротке замикання в пристроях. Найчастіше пошкоджуються вхідні кола електронних блоків. Ці пошкодження можуть призвести до виходу з ладу вузлів і елементів фільтра вищих гармонік. Крім того, потік електронів, проходячи через елементи, створює вільні

Електронна апаратура містить елементи, виготовлені з таких матеріалів: метали, неорганічні діелектрики, провідники та різноманітні сполуки (діелектрики, смоли тощо). Серед цих матеріалів метали найбільш чутливі до впливу іонізуючих випромінювань, оскільки в них уже є вільні носії заряду.

Експлуатація фільтрів вищих гармонік в умовах іонізуючого випромінювання може призвести до її пошкодження або навіть виходу з ладу. Автоматизована система фільтрів складається з багатьох компонентів, основними з яких є конденсатори, дроселі, резистори, транзистори. Зважаючи на характеристики цих компонентів, розроблено таблицю 5.6 максимально допустимих потужностей доз гамма-випромінювання, які не спричинять пошкодження системи.

5.3.1 Дослідження безпеки роботи фільтрів вищих гармонік в умовах впливу іонізуючого випромінювання[38]

Проведемо аналіз наших фільтрів та занесемо поблочно данні у таблицю 5.6.

Таблиця 5.6 – Максимально допустимі потужні дози гамма випромінювання для елементів системи фільтрів гармонік

№	Блоки фільтрів вищих гармонік	Елементи блоків системи керування	$P_{зв\ i}$ (Р/год)	$P_{зв}$ (Р/год)
1	Блок фільтра нижчих частот	Конденсатор TE 2.2UF 50V	10^5	10^4
		Транзистор IRF3205	10^5	
		Резистор 300 kOhm 5% 0,5W	10^6	
2	Блок фільтра змінного струму	Дросель двообмотковий HCUU16-802-0.8A	10^4	
3	Блок активних компонентів	Конденсатор 1000UF 25V 10*17	10^5	
		Транзистор D882	10^5	

Вивчаючи дані таблиці 5.6, ми можемо визначити, які елементи системи керування є найбільш вразливими до впливу іонізуючого випромінювання. Такі елементи починають проявляти ознаки пошкодження при інтенсивності випромінювання 10^4 Р/год.

Граничне значення рівня радіації, при якому система керування барабанної сушарки буде працювати, визначається по формулі:

$$P_{гр} = K \cdot P_{зв} \cdot K_{посл}, \quad (5.1)$$

де $P_{зв}$ – рівень радіації, що відповідає початку зворотних змін у найуразливішому елементі схеми;

K – коефіцієнт надійності ($K=0,94$);

$K_{осл}$ – коефіцієнт ослаблення виробничого приміщення ($K_{посл} = 1$).

$$P_{гр} = 0.94 * 4.63 * 1 = 4.35 \text{ (Р/год)}$$

Отже, фільтр, що розробляється, буде безпечно працювати при рівні радіації, який не перевищує 4,35 Р/год.

Визначимо допустимий час роботи фільтрів вищих гармонік t_d в заданих умовах за формулою:

$$t_d = \left(\frac{D_{зр} \cdot k_{осл} + 2 \cdot P_{1\max} \cdot \sqrt{t_n}}{2 \cdot P_{1\max}} \right)^2,$$

$$t_d = \left(\frac{10^4 \times 1 + 2 \times 4.35 \times \sqrt{1}}{2 \times 4.35} \right)^2 = 1,32 \times 10^6 \text{ (год)}$$

Отже, фільтр вищих гармонік а саме блок нижчих частот є не стійкою в умовах дії іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи в заданих умовах становить для блока нижчих частот $1,32 \times 10^6$ год,

5.3.2 Дослідження безпеки роботи системи КУ в умовах дії електромагнітного імпульсу

1. Горизонтальна складова напруженості електромагнітного поля:

$$E_{Г} = 10^{-3} E_{В}, E_{Г} = 10^{-3} \cdot 10,83 \text{ кВ} = 10,83 \text{ (В)}.$$

2. Максимальні довжини струмопровідних частин радіоелектронної апаратури :

$$l_{Г} = 0,2 \text{ м}; l_{В} = 3,6 \text{ (м)}.$$

3. Напруги, наведені в вертикальних та горизонтальних струмопровідних частинах КУ:

$$U_{В} = E_{Г} \cdot l_{В}, U_{Г} = E_{В} \cdot l_{Г}.$$

$$U_{В} = E_{Г} \cdot l_{В} = 10,83 \cdot 3.6 = 38,98 \text{ В}, U_{Г} = E_{В} \cdot l_{Г} = 10830 \cdot 0,20 = 2166 \text{ (В)}.$$

4. Допустиму напругу живлення генератора електричних коливань визначимо за формулою:

$$U_{\text{д}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}} N}{100} = 12 + \frac{12 \cdot 30}{100} = 15.6 \text{ (В)}$$

де $U_{\text{ж}} = 12$ – напруга живлення РЕА, (В); $N = 30$ – допустиме відхилення у відсотках.

5. Визначаємо коефіцієнти безпеки:

$$K_{\text{БВ}} = 20 \lg \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{В}}} = 20 \lg \frac{15.6}{38.98} = -7.95 \text{ (дБ)},$$

$$K_{\text{БГ}} = 20 \lg \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{Г}}} = 20 \lg \frac{15.6}{2166} = -44.58 \text{ (дБ)}.$$

Оскільки коефіцієнти безпеки $K_{\text{БВ}} < 40 \text{ дБ}$ і $K_{\text{БГ}} < 40 \text{ дБ}$, то КУ будуть нестійким в роботі в умовах дії ЕМІ. Результати розрахунку заносимо до таблиці.

Таблиця 5.7 – Результати дослідження стійкості роботи фільтрів вищих гармонік в умовах дії електромагнітного імпульсу

Блоки	$U_{\text{д}}$, (В)	$E_{\text{В}}$, (В/м)	$E_{\text{Г}}$, (кВ/м)	$U_{\text{В}}$, (В)	$U_{\text{Г}}$, (В)	$K_{\text{БВ.і}}$, (дБ)	$K_{\text{БГ.і}}$, (дБ)
КУ	12,6	10830	10,83	38,98	2166	-7,95	-44,58

7. Розробка заходів захисту роботи фільтра вищих гармонік від небезпечних чинників надзвичайних ситуацій

8. Розрахунок необхідної товщини захисного екрана зі сталі:

$$A = 5,2 * t_{\text{min}} * \sqrt{f} \text{ дБ},$$

Де t – товщина стінки екрана, см $f = 15 \text{ кГц}$.

$$A_{\text{min}} = 40 - K_{\text{б.мин}} = 40 - (-44.58) = 84.58 \text{ дБ, тоді}$$

$$t_{\text{min}} = \frac{A_{\text{min}}}{\sqrt{f} * 5.2} = \frac{84.58}{\sqrt{15000} * 5.2} = 0.41 \text{ см.}$$

Окрім того, для захисту фільтра від радіоактивного та електромагнітного випромінювань та інших чинників можна вжити таких заходів:

- використання в апаратурі радіаційно-стійких елементів і матеріалів;
- застосування для приміщень різних загальних екранів або активного захисту від дії радіації;
- використання схем, малочутливих до зміни електричних параметрів;
- зменшення чутливості перемикальних схем до зміни вхідних сигналів і напруг джерел живлення;
- зниження напруги живлення на аноді і збільшення негативного зміщення сіток газорозрядних приладів;
- застосування пристроїв, що вимикають радіотехнічні схеми на час дії радіації;
- збільшення відстані між елементами, які знаходяться під навантаженням та ін.

5.3.3 Розробка заходів по підвищенню безпеки роботи фільтрів вищих гармонік в умовах надзвичайних ситуацій

Фільтри можуть бути пошкоджені внаслідок надзвичайних ситуацій. Для запобігання цьому необхідно регулярно проводити профілактичні ремонтні роботи, щоб підвищити надійність електронних блоків і сенсорів. Крім того, слід дотримуватися правил техніки безпеки та використовувати програмну та апаратну надлишковість, щоб зменшити ймовірність збоїв.

Для боротьби з впливом іонізуючого опромінення використовують алюмінієві сплави, леговані елементами з високим атомним номером (лантаноїдами і рідкоземельними елементами), сплави на основі тугоплавких і рідкоземельних елементів і багатошарові матеріали. Також для боротьби з впливом іонізуючого випромінювання можна використати метод, що полягає в захисному покритті радіоелектронної апаратури, які піддаються впливу

іонізуючого випромінювання захисне покриття виконане у вигляді наноструктури, яка включає сукупність атомів рідкоземельних елементів, введених в структуру армованої атомно-молекулярної металічної матриці, або утворює її захисний шар.

За попередніми розрахунками, фільтри вищих гармонік можуть бути нестійкими до впливу електромагнітних перешкод або іонізуючого випромінювання. У цьому випадку необхідно вжити заходів для підвищення безпеки її роботи, зокрема екранувати всю систему або окремі її блоки, які найбільш чутливі до впливу ЕМІ.

Було встановлено, що фільтри вищих гармонік в умовах дії іонізуючих випромінювань буде безпечно працювати при рівні радіації, який не перевищує 4,35 Р/год. А в умовах дії електромагнітного імпульсу система КУ буде надійно працювати, якщо вертикальна складова напруженості електричного поля не буде перевищувати його граничне значення $E_{\text{вер}}=10830$ (В/м).

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі «Аналіз втрат електричної енергії, що зумовлені використанням перетворювачів частоти, в мережах Товариства з обмеженою відповідальністю “Вінницький комбінат хлібопродуктів № 2”», ми дійшли таких висновків:

Під час попередньої перевірки на ТОВ «ВКХП №2» було встановлено, що підприємство активно працює і має надійні ринки збуту продукції. Виробничі потужності споживають електричну енергію. Потужними споживачами є виробничі механізми з асинхронними двигунами, котельня, освітлювальні установки.

У 2 розділі було розроблено систему електропостачання Вінницького комбінату хлібопродуктів №2. Проведено розрахунок електричних навантажень заводу, з врахуванням коефіцієнтів.

Проведено розрахунок заводської мережі, проведено підбір основного обладнання, виконано всі вимоги нормативних документів, забезпечено надійне електропостачання електроприймального обладнання заводу.

На основі проведених розрахунків було обрано спорудження ГПП ТМ-2500/35 та трьох двотрансформаторних ТП з трансформаторами ТМ-1000/10, які забезпечать високу надійність.

Були розглянуті вимоги нормативних документів щодо ЕМС, методи зменшення вищих гармонік в струмах живлення напівпровідникових перетворювачів. Ми дослідили що вищі гармоніки в системах електропостачання можуть спричиняти багато негативних наслідків, та щоб їх подолати ми дійшли висновку що захистом від гармонічних спотворень у мережі живлення є пасивні та активні фільтри гармонік.

Результати дослідження підтверджують, що за наявності нелінійних навантажень в системі живлення для більш точного аналізу вмісту гармонік

досліджуваного сигналу необхідна група гармонік, що містить проміжні спектральні лінії.

В результаті аналізу використання енергетичних ресурсів на підприємстві остаточно було сформовано такі рекомендації з енергозбереження: встановлення засобів компенсації реактивної потужності, встановлення активних фільтрів для зменшення та не допускання нелінійних навантажень на підприємстві, заміна ртутних ламп на натрієві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бурбело Михайло Йосипович. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків: навчальний посібник – 2-ге вид., перероб. І доп. / М.Й. Бурбело. –Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2005 – 148 с. ISBN 966-641-145-8.
2. Підручник з проектування електропостачання/ В.М. Білик, В.М. Білик, І.В. Гаврилюк, В.М. Дячук// . – Київ, "Національна академія наук України", 2015 – 600 с. ISBN: 978-966-02-8565-5.
3. Правила улаштування електроустановок. - 5-те вид., переробл. й доповн. - X .: Міненерговугілля України, 2014.
4. Електрична частина електростанцій і підстанцій, автори: В. М. Гаряжа, О. В. Остапчук – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2022
5. Електропостачання промислових підприємств: підручник / В. В. Нестерчук, В. І. Рогожин, В. М. Сіренко. – К.: Вища школа, 2010. – 400 с.
6. Нестерчук В. В., Рогожин В. І., Сіренко В. М. Методика розрахунку потужності трансформаторів і розподільчих пристроїв електропостачання промислових підприємств. – К.: КНУБА, 2011. – 60 с
7. Гаврилюк В. М., Нестерчук В. В., Рогожин В. І. Енергоефективність електропостачання промислових підприємств. – К.: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2018. – 224 с.
8. ДСТУ ІЕС/TR 60909-4:2008 (ІЕС/TR 60909-4:2000, IDT) Національний стандарт України. Струми короткого замикання в трифазних системах змінного струму. Частина 4. Приклади обчислення сили струму короткого замикання.
9. СН 174-75 Інструкція з проектування електропостачання промислових підприємств.

10. СН 357-77 Інструкція з проектування силового та освітлювального електрообладнання промислових підприємств.
11. РД 153-34.0-15.501-00 Контроль якості електричної енергії
12. Силові трансформатори – Режим доступу: <http://www.bisik.kiev.ua/uk/transformers>
13. Вимикачі навантаження – Режим доступу: <http://001.com.ua/uk/vymykachi-navantazheniya-c756>
14. Про затвердження Технічного регламенту з електромагнітної сумісності обладнання Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1077-2015-%D0%BF#Text>
15. Рекомендації із застосування Технічного регламенту, з електромагнітної сумісності обладнання Режим доступу: <http://www.ukrtest.com/doc/RecEMC.pdf>
16. Вплив коливань частоти напруги в електричній мережі та точність визначення гармонічного аналізу Режим доступу: http://ela.kpi.ua:8080/bitstream/123456789/27347/1/Shershen_magistr.pdf
17. Фільтри гармонік Режим доступу: <http://plimtex.com.ua/filtri-garmonik/>
18. ЭМС-фильтры TDK-EPCOS Режим доступу: http://ferrite.ru/products/emc_components/
19. Сидоренко О. М., Кінаш В. В., Нестерчук В. В., Рогожин В. І. Електропостачання промислових підприємств: підручник. – К.: Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури, 2012. – 400 с.
20. Гаврилюк В. М., Нестерчук В. В., Рогожин В. І. Визначення джерел вищих гармонік у мережах промислових підприємств // Електропостачання. – 2020. – № 9. – С. 34-37.
21. Метод оцінки втрат потужності у кабелях низької напруги промислових електричних мереж SEPES. 2021; Випуск 3, Номер 2: сс. 17 – 26. Режим доступу: <https://doi.org/10.23939/sepes2021.01.017>

22. The Power Losses in Cable Lines Supplying Nonlinear Loads Режим доступу: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/5/1374>
23. Calculation of Transformer Losses under Non-Sinusoidal Currents Using: Two Analytic Methods and Finite Element Analysis M Yazdani-Asrami, 1M Mirzaie and 2A, Shayegani Akmal, 2010 Режим доступу: [https://www.idosi.org/wasj/wasj9\(8\)/7.pdf](https://www.idosi.org/wasj/wasj9(8)/7.pdf)
24. Calculation of Power Transformer Losses due to Harmonic Current Flow The 10th International Scientific Symposium ELEKTROENERGETIKA 2019 Режим доступу: <https://dusan.medved.website.tuke.sk/VEGA/VEGA-1-0372-18/clanky/Kanalik3.pdf>
25. Методика розрахунків плати за перетоки реактивної електроенергії між енергопостачальною організацією та її споживачами [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=z0619-97> (дата звернення 27.11.2023).
26. Методичні рекомендації «Санітарно-гігієнічні вимоги щодо використання систем променевого опалення в виробничих приміщеннях» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://document.ua/pro-zatverdzhennja-metodichnih-rekomendacii-sanitarno-gigien-doc17891.html> (дата звернення 27.11.2023).
27. Інфрачервоні обігрівачі [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.desa.net.ua/infrachervoni-obigrivachi.html> (дата звернення 27.11.2023).
28. Програма курсу: блок "Енергозбереження в промисловості" [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.is.svitonline.com/sukhodolya/students/galyz1.htm> (дата звернення 27.11.2023).
29. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
30. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних

матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL:

<https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.

31. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

32. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (Правила устроювання електроустановок. Электрооборудование специальных установок). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

33. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

34. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

35. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

36. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-no-r4878.html>.

37. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

38. Кодекс цивільного захисту України. К.: ВР України, 2012. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.

ДОДАТКИ

Додаток А
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УЗГОДЖЕНО

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри ЕСЕЕМ

_____ 2023 р.

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.
_____ 2023 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему:

АНАЛІЗ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ЩО ЗУМОВЛЕНІ
ВИКОРИСТАННЯМ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ, В МЕРЕЖАХ
ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ “ВІННИЦЬКИЙ
КОМБІНАТ ХЛІБОПРОДУКТІВ № 2”

08-22.МКР.247.05.100 ТЗ

Науковий керівник:

к.т.н., доцент каф. ЕСЕЕМ Кравець О.М.

(підпис)

Виконавець: студент гр. ЕМ - 22м

Белза Д.І. _____

(підпис)

Вінниця 2023 р.

1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (МКР)

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за № 247 від 18 вересня 2023 р.

Дата початку роботи 1 жовтня 2023 р.

Дата закінчення роботи 5 грудня 2023 р.

2. МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРОБКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

а) *мета* – Метою роботи є проведення техніко-економічного аналізу та розрахунок режимів споживання електроенергії за результатами проведених розрахунків запропонована система компенсації реактивної потужності, також проведення аналізу при встановленні інфрачервоного опалення, перевірка системи освітлення, зроблені висновки по втратам через нелінійні навантаження.

б) *призначення розробки* – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

в) *вихідні дані для виконання МКР*: генплан підприємства, відомості про особливості технологічних процесів, відомості про електричні навантаження підприємства; відомості про джерела живлення та перспективу розвитку підприємства; відомості про силові електронні перетворювачі, встановлені на підприємстві, які є джерелом вищих гармонік.

3. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

3.1 Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи студентами спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Уклад. Л. Б. Терешкевич, О. Д. Демов, Ю. А. Шулле. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 28 с.

3.2 Правила улаштування електроустановок. - 5-те вид., переробл. й доповн. - X .: Міненерговугілля України, 2014.

3.3. М.Й. Бурбело «Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків».- Вінниця: ВНТУ, 2005р.

3.4. Демов О. Д. «Економія електроенергії на промислових підприємствах». – Вінниця: ВНТУ, 2006р.

4. ЕТАПИ І ТЕРМІН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика підприємства та технологічного процесу	10.10.2023	
2	Аналіз енергоефективності підприємства	25.10.2023	
3	Науково дослідна частина	15.11.2023	
4	Економічна частина	20.11.2023	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	30.11.2023	
6	Написання пояснювальної записки	08.12.2023	

5. МАТЕРІАЛИ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ МКР

Пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстровані матеріали, анотація до МКР українською та іноземною мовою.

6. ПОРЯДОК КОНТРОЛЮ ВИКОНАННЯ ТА ЗАХИСТУ МКР

Робота приймається на проміжних контрольних перевірках, попередньому захисті та захисті в ЕК.

7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

7.1 Дані про патентоспроможність

Не передбачається

8 ОЧІКУВАНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

Не передбачається

Додаток Б
Вихідні дані

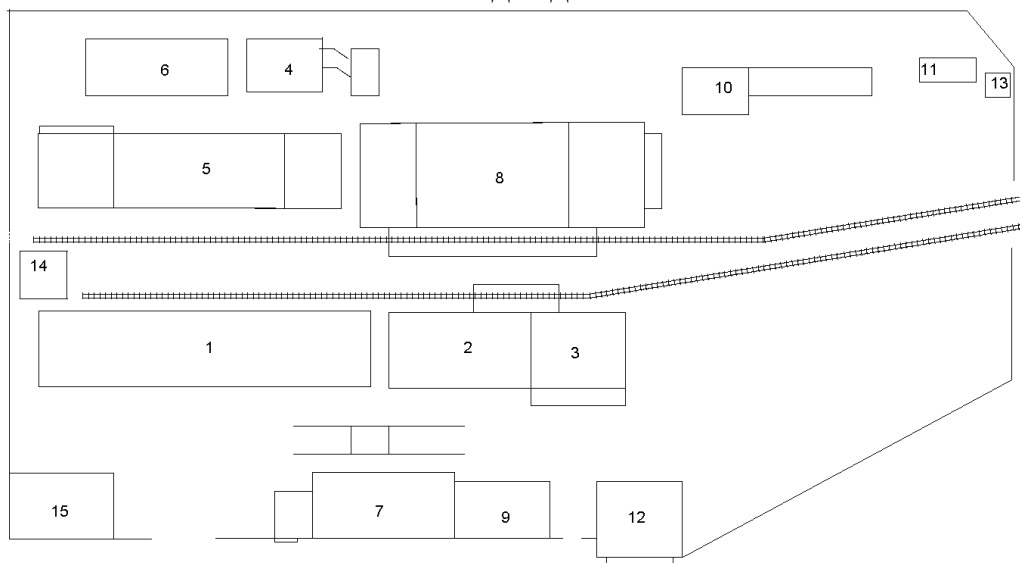


Рисунок Б.1 – Генплан “Вінницького КХП №2”

Таблиця Б.1 - Відомості про електричні навантаження заводу

№	Назва цеха	Встановлена потужність, кВт
1	Елеватор	646
2	Млинцех №1	350
3	Млинцех №2	250
4	Крупцех№1	380
5	Склад	100
6	Рем. Буд. цех	150
7	Крупцех№2	420
8	Комбікормовий завод	410
9	Лабораторія	110
10	Котельна	490
11	Пилорама	100
12	Адмінкорпус	90
13	Пожежне депо	22

14	Транспортний цех	38
15	Механічні майстерні	290

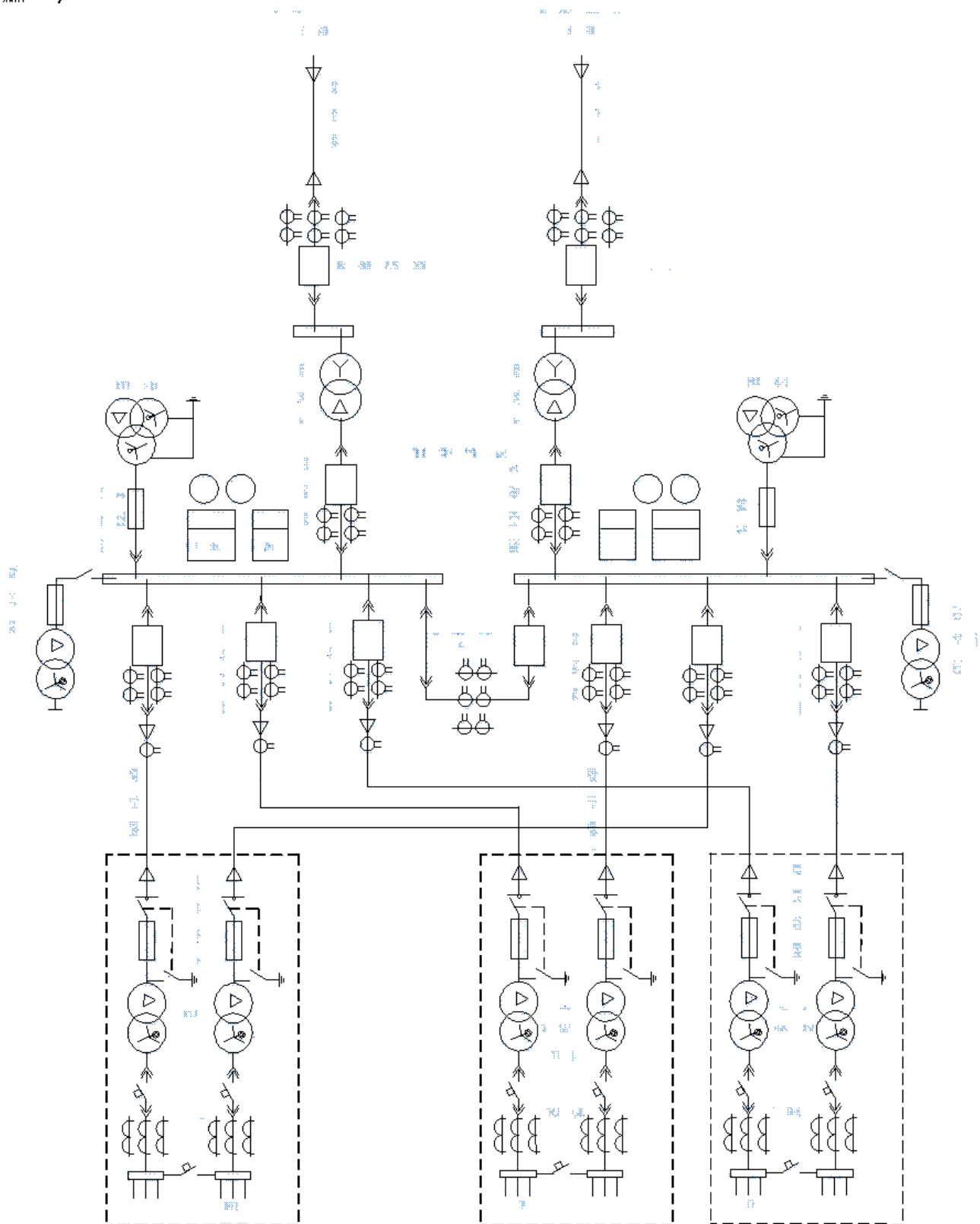


Рисунок Б.2 - Однолінійна схема електропостачання

Додаток В
ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Аналіз втрат електричної енергії, що зумовлені використанням перетворювачів частоти, в мережах Товариства з обмеженою відповідальністю “Вінницький комбінат хлібопродуктів № 2”

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ: кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту факультет електроенергетики та електромеханіки
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 88,7 Схожість 11.3%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку _____ Лобода Ю.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи _____ Белза Д.І.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ Кравець О.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Додаток Г

Ілюстративна частина

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Аналіз втрат електричної енергії, що зумовлені використанням перетворювачів частоти, в мережах Товариства з обмеженою відповідальністю “Вінницький комбінат хлібопродуктів № 2”»

Виконав: студент 2-го курсу, групи ЕМ-22м спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Белза Д. І.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ЕСЕЕМ
Кравець О. М.
« _____ » _____ 2023 р.

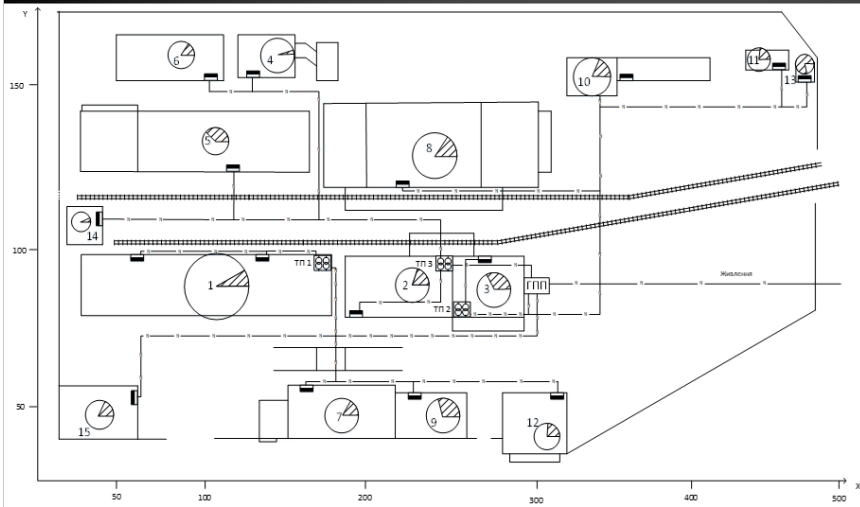
Опонент:

« _____ » _____ 2023 р.

Вінниця ВНТУ – 2023 року

- Актуальність теми. Прийняття проектних рішень безпосередньо впливає на обсяг і складність монтажних робіт, зручність експлуатації та безпеку електроустановок в системі електропостачання.
- Забезпечити надійність електропостачання шляхом підбору найсучаснішого електрообладнання, силових трансформаторів, кабельної продукції, електричних навантажень у нормальному та аварійному режимах відповідно до номінальних навантажень цих компонентів, за допомогою конструктивного резервування, засобів автоматизації та релейного захисту.
- Виробничий процес спирається на систему електропостачання для забезпечення нормальної роботи підприємства. Система електропостачання повинна відповідати таким вимогам: ефективність, безпечна експлуатація, надійність, можливість подальшого розвитку без істотних змін, забезпечення якості регулювання електроенергії.
- Об'єкт дослідження – ТОВ «ВКХП №2».
- Предмет дослідження – предметом дослідження є заходи щодо контролю та поліпшення показників енергоефективності
- Методи дослідження. Розрахунок активної та реактивної потужності для електрообладнання та освітлення в цехах і фабриках проводиться за методом коефіцієнта попиту. Більшість обчислень виконується за допомогою Microsoft Office Excel.
- Практична цінність. Можливість використання розрахунків на ТОВ «ВКХП №2», для поліпшення системи енергозбереження підприємства.
- Наукова новизна. Вдосконалено систему енергозбереження ТОВ «ВКХП №2».
- Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що впровадження фільтрів дозволить зменшити вищі гармоніки.
- Особистий внесок здобувача. Розроблений метод для вирішення задачі, а також отримані результати, які складають основний зміст магістерської кваліфікаційної роботи, отримані автором самостійно.

ГЕНПЛАН ПІДПРИЄМСТВА З КАРТОГРАМОЮ НАВАНТАЖЕНЬ

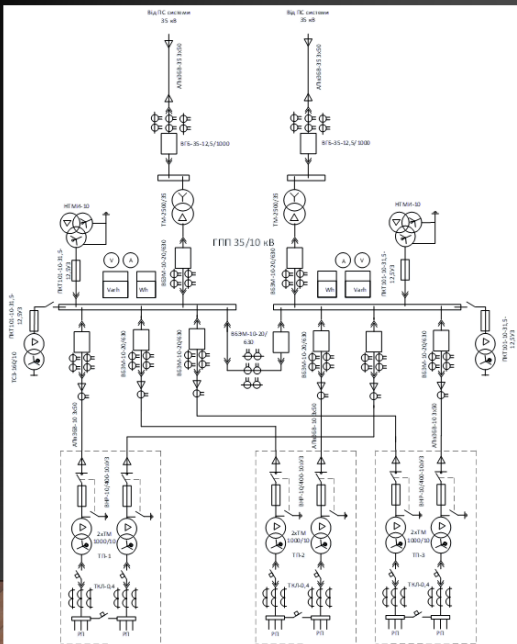


Таблиця умовних позначень

Позначення	Найменування
⊗	Трансформаторна підстанція
■	Розподільчий пристрій
—N—	Кабельні лінії 10 кВ

№	Назва цеху	Встановлена потужність, кВт
1	Елеватор	646
2	Млинцех №1	350
3	Млинцех №2	250
4	Крупцех №1	380
5	Склад	100
6	Рем. Буд. цех	150
7	Крупцех №2	420
8	Комбікормовий завод	410
9	Лабораторія	110
10	Котельня	490
11	Пилорама	100
12	Адмінкорпус	90
13	Пожежне депо	22
14	Транспортний цех	38
15	Механічні майстерні	290

ОДНОЛІНІЙНА СХЕМА ПІДПРИЄМСТВА



Вибір високовольтних вимикачів і перерізу провідників

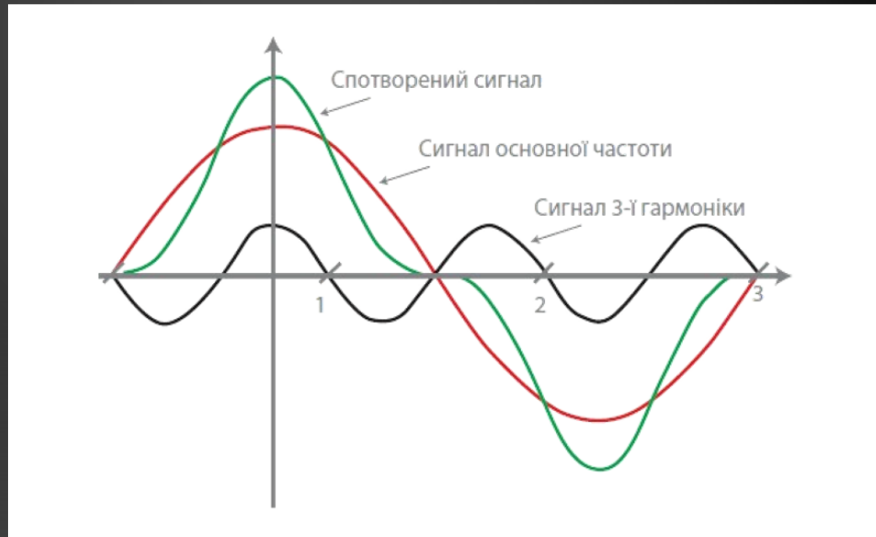
Ділянка	I _ж , А	I _ж , А	Вимикач	Ін.в, А	Лінія Живлення Тип	Переріз	Ідоп, А
ПС-ГПП	20,9	41,9	ВГБ-35-12,5/1000	1000	АПвЭБ В-35	3x50	177
ГПП-ТП1	41	83	ВБЭМ-10-20/630	630	АПвЭБ В-10	3x50	177
ГПП-ТП2	20	41	ВБЭМ-10-20/630	630	АПвЭБ В-10	3x50	177
ГПП-ТП3	11	22	ВБЭМ-10-20/630	630	АПвЭБ В-10	3x50	177

Капітальні затрати на спорудження мережі

№	Марка ТП	Ст, кВА	п. шт.	Тип та кількість шаф	Вартість грн.
ГПП	ТМ-2500/35	2500	2	-	1 150 700
ТП 1	ТМ-1000/10	1000	2	2 КН-2; 2 КН-3; 4 КН-4	754 000
ТП 2	ТМ-1000/10	1000	2	2 КН-2; 2 КН-3; 4 КН-4	754 000
ТП 3	ТМ-1000/10	1000	2	2 КН-2; 2 КН-3; 4 КН-4	754 000
Капітальні затрати на спорудження мережі					3 412 000

ДЖЕРЕЛА ВИЩИХ ГАРМОНІК НА ПІДПРИЄМСТВІ

- Нестабільні навантаження
- Електромагнітні і електронні баласты систем освітлення
- Однофазне електрообладнання
- Релейне та комутаційне обладнання
- Пристрої плавного пуску
- Регульовані електроприводи.



НЕСТАБІЛЬНІ НАВАНТАЖЕННЯ / ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ТА ЕЛЕКТРОННІ БАЛАСТИ

Нестабільні навантаження

- Нелінійні вольт-амперні характеристики
- Змінні струми та напруги
- Збудження вищих гармонік

Електромагнітні баласты

- Споживання активної потужності
- Заводські баласты
- Завищені втрати

Електронні баласты

- Зменшення генерації вищих гармонік
- Зменшення втрат потужності
- Покращення якості світла



1



2

1 - Баласт електронний 18Вт. 2 - Баласт електромагнітний 30Вт

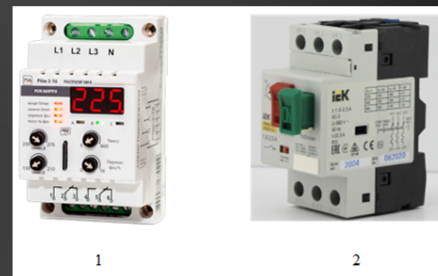
ОДНОФАЗНЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ / РЕЛЕЙНЕ ТА КОМУТАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ

Однофазне електрообладнання

Для контролю та зниження впливу вищих гармонік у однофазних системах важливо використовувати фільтри вищих гармонік, контролювати навантаження, споживати обладнання з низькою споживаною потужністю, та забезпечувати стабільність у системі живлення.

Релейне та комутаційне обладнання

- Перемикання реле
- Використання комутаційних ключів
- Незадовільна ізоляція та змінна частота
- Реактивна потужність



1 – Трифазне реле напруги 2 - Пускач захисту двигуна

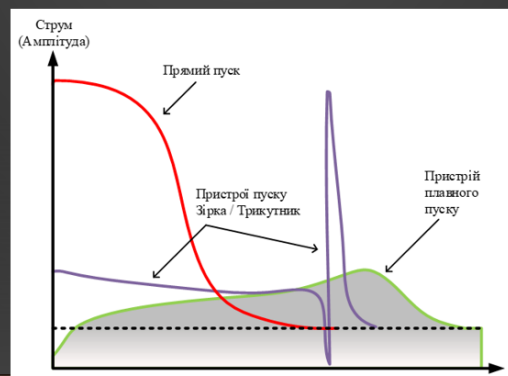
ПРИСТРОЇ ПЛАВНОГО ПУСКУ / РЕГУЛЬОВАНІ ЕЛЕКТРОПРИВОДИ

Пристрої плавного пуску

- Перетворення внутрішньої енергії
- Неоднорідність споживачів електроенергії
- Неоднорідність інверторів і обладнання ППП
- Поширення гармонік у системі електропостачання

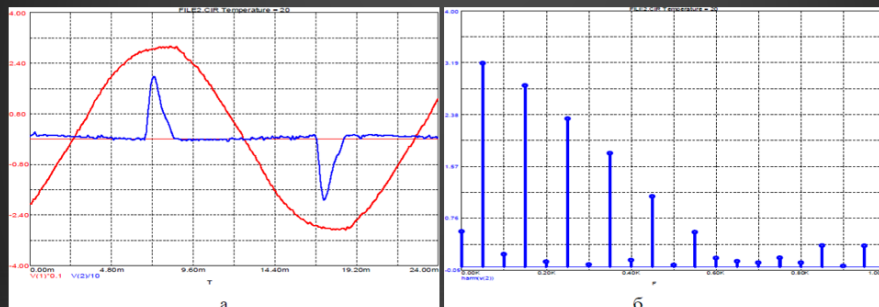
Регульовані електроприводи

- Пульсація струму та напруги
- Неоднорідність навантаження
- Взаємодія з системою електропостачання
- Верхні частоти керування



Діаграма плавного пуску електродвигуна

НАСЛІДКИ ВИНИКНЕННЯ ВИЩИХ ГАРМОНІК СТРУМУ В МЕРЕЖАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

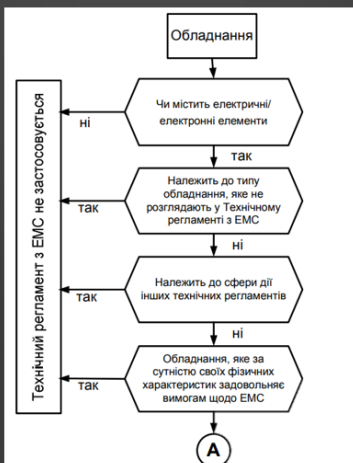


Вплив нелінійних джерел живлення на якість електричної енергії:

а – напруга живлення та споживаний струм;

б– спектральний склад струму.

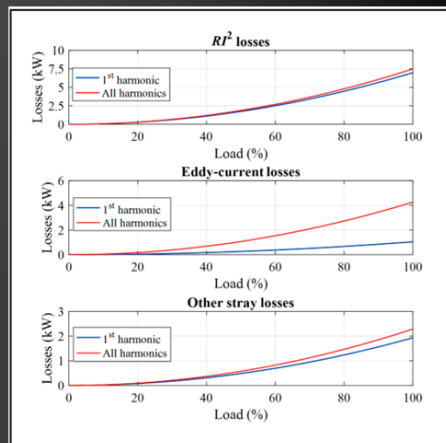
ВИМОГИ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ ЩОДО ЕМС



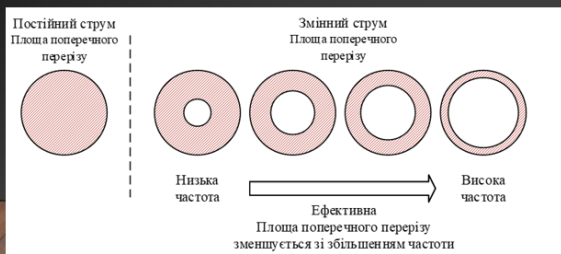
Сфера застосування Технічного регламенту з ЕМС до обладнання

ВПЛИВ НЕЛІНІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ВТРАТИ:
 - У ТРАНСФОРМАТОРАХ
 - У КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЯХ

Втрати (Вт)	Перша гармоніка	Усі гармоніки	Коефіцієнт гармонічних втрат
Втрати в обмотці	6 980.8	7 484.4	1.0241
Вихро-струмові втрати	1 040.6	4 261.8	4.0955
Інші втрати блукаючих струмів	1 932.6	2 287.4	1.1836
Втрати навантаження	9 954	14 033.6	
Втрати холостого ходу	1 716	1 716	
Загальні втрати	11 670	15 749.6	

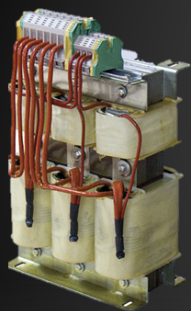


Номинальні втрати аналізованого силового трансформатора



Залежність скін-ефекту

МЕТОДИ ЗМЕНШЕННЯ ВИЩИХ ГАРМОНІК В СТРУМАХ ЖИВЛЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ



Пасивний фільтр



Активний фільтр IREM



Модульний активний фільтр QVANTECH APF

ЕКОНОМІЧНА ЧАТИНА

dP _{xx} , кВт	dP _{кз} , кВт	S _n , кВА	P _c , кВт	Q _c , квар	T, год	кфа	кфр	C, грн/кВт*год	Втр. до, грн	Втр. після, грн	Економія, грн
2,45	11	1000	661,7	867	8760	1,3	1,28	4	845753,9	306672,7	539081
2,45	11	1000	129,2	178	8760	1,31	1,29	4	117211,9	32503,4	84708
2,45	11	1000	75	85	8760	1,28	1,27	4	93891,8	25014,2	68878
2,45	11	1000	252,3	386	8760	1,33	1,3	4	226303,5	64862,5	161441
2,45	11	1000	165	189	8760	1,33	1,3	4	127678,6	40024,1	87654
2,45	11	1000	46,94	65	8760	1,33	1,3	4	90102,4	22964,3	67138
трансформаторах											1008901,0

Визначення вартості зниження втрат електроенергії в трансформаторах підприємства

dP _{xx} , кВт	dP _{кз} , кВт	S _n , кВА	P _g	Q _g	T, год	кфа	кф	C, грн/кВт*год	Втр. до, грн	Втр. після, грн	Економія, грн
2,45	11	1000	496,3	650,3	8760	1,3	1,4	4	565707,4	181893,0	383814
2,45	11	1000	96,9	133,5	8760	1,31	1,28	4	103313,6	27672,8	75841
2,45	11	1000	56,3	63,8	8760	1,28	1,1	4	89741,5	23460,1	66281
2,45	11	1000	189,2	289,5	8760	1,33	1,38	4	171780,2	45874,8	125905
2,45	11	1000	123,8	141,8	8760	1,33	1,3	4	109377,7	31903,2	77474
2,45	11	1000	35,2	48,8	8760	1,33	1,14	4	87883,5	22307,0	65576
трансформаторах											794693,0

Визначення вартості зниження втрат електроенергії в трансформаторах підприємства використовуючи активні фільтри

кф/до	кф/після	P _c , кВт	Q _c , квар	T, год	U, кВ	l, км	R ₀ , Ом/км	C, грн/кВт*год	Втр. до, грн	Втр. після, грн	Економія, грн	
Кл1	1,29	1,28	661,7	867	8760	10	0,1	1,75	4	121383,3	43989,0	77394,3
Кл2	1,28	1,27	129,2	178	8760	10	0,1	1,75	4	4860,2	1651,0	3209,3
Кл3	1,28	1,27	75	85	8760	10	0,07	1,23	4	832,6	272,6	360,0
Кл4	1,28	1,27	252,3	386	8760	10	0,07	1,23	4	10468,5	3084,9	7383,6
Кл5	1,28	1,27	165	189	8760	10	0,055	0,96	4	1913,0	814,5	1098,5
Кл6	1,28	1,27	46,94	65	8760	10	0,055	0,96	4	195,4	65,9	129,4
Всього по КП											89575,2	

Визначення вартості зниження втрат електроенергії в кабельних лініях підприємства

W _{асп} , кВт*год	W _{рсп} , квар*год	I _{gf}	D _c , кВт/квар	C, грн/кВт*год	Сбаз	B1, грн	B2, грн	BWp, грн
16334567	1289100	0,75	0,3	4	1,3	1546920	502749	2049669
Повна економія внаслідок КРП				2049669				

Визначення величини зниження оплати за електроенергію підприємством внаслідок КРП

Лампа	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Термін служби, год.	Цоколь	Ціна, грн.
ДРЛ	250	13000	6000	E40	202
Нагрієва	150	15000	12000	E40	170

Порівняльні характеристики дугових ртутних ламп (ДРЛ) і нагрієвих ламп

ОХОРОНА ПРАЦІ

- Розділ магістерської роботи присвячений дотримання вимог охорони праці під час обслуговування пристроїв обліку електричної енергії (аналізу втрат) в мережах ТОВ «ВКХП № 2».
- Електробезпека
- Живлення силового обладнання підприємства та систем освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В), з'єднаної з силовим трансформатором.
- Пожежна безпека
- Приміщення ТОВ КХП № 2 за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В, з зонами П-III (місця, де зберігаються тверді горючі речовини – зерно, борошно тощо).
- На території підприємства на кожному з об'єктів потрібно встановити від 2 до 5 вогнегасників ВП-5, ВВП-5 або аналогічних ємністю 6 або 9 л..

ВИСНОВКИ

- У магістерській кваліфікаційній роботі «Аналіз втрат електричної енергії, що зумовлені використанням перетворювачів частоти, в мережах Товариства з обмеженою відповідальністю «Вінницький комбінат хлібопродуктів № 2»», ми дійшли таких висновків:
- Під час попередньої перевірки на ТОВ «ВКХП №2» було встановлено, що підприємство активно працює і має надійні ринки збуту продукції. Виробничі потужності споживають електричну енергію. Потужними споживачами є виробничі механізми з асинхронними двигунами, котельня, освітлювальні установки.
- У 2 розділі було розроблено систему електропостачання Вінницького комбінату хлібопродуктів №2. Проведено розрахунок електричних навантажень заводу, з врахуванням коефіцієнтів.
- Проведено розрахунок заводської мережі, проведено підбір основного обладнання, виконано всі вимоги нормативних документів, забезпечено надійне електропостачання електроприймального обладнання заводу.
- На основі проведених розрахунків було обрано спорудження ГПП ТМ-2500/35 та трьох двотрансформаторних ТП з трансформаторами ТМ-1000/10, які забезпечать високу надійність.
- Були розглянуті вимоги нормативних документів щодо ЕМС, методи зменшення вищих гармонік в струмах живлення напівпровідникових перетворювачів. Ми дослідили що вищі гармоніки в системах електропостачання можуть спричиняти багато негативних наслідків, та щоб їх подолати ми дійшли висновку що захистом від гармонічних спотворень у мережі живлення є пасивні та активні фільтри гармонік.
- Результати дослідження підтверджують, що за наявності нелінійних навантажень в системі живлення для більш точного аналізу вмісту гармонік досліджуваного сигналу необхідна група гармонік, що містить проміжні спектральні лінії.
- В результаті аналізу використання енергетичних ресурсів на підприємстві остаточно було сформовано такі рекомендації з енергозбереження: встановлення засобів компенсації реактивної потужності, встановлення активних фільтрів для зменшення та не допускання нелінійних навантажень на підприємстві, заміна ртутних ламп на натрієві.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ !!!