

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(освітній (освітньо-кваліфікаційний) рівень)

на тему: **Підвищення надійності електропостачання
споживачів ливарного заводу**

Виконав: студент VI курсу, групи ЕЕМ-61

напряму підготовки (спеціальності) 141

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Воловик В. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Євтух П. С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Вакуленко О. О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

Кафедра Електричної інженерії

Освітній рівень магістр

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри д.т.н., проф. М.Г. Тарасенко

«02» вересня 2019 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Воловику Володимиру Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Підвищення надійності електропостачання споживачів ливарного заводу

Керівник проекту (роботи) Євтух Петро Сильвестрович, д.т.н., професор

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

Затверджені наказом по університету від «23» серпня 2019 року № 4/7-731

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 20 грудня 2019 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Технологічний план розташування електротехнічного обладнання, характеристика споживачів заводу, графіки електричних навантажень заводу, установлена активна потужність блоку цехів основного виробництва.

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

Вступ

1. Аналітична частина

2. Науково-дослідна частина

3. Технологічна частина

4. Проектно-конструкторська частина

5. Спеціальна частина

6. Обґрунтування економічної ефективності

7. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

8. Екологія

Загальні висновки до дипломної роботи

Перелік посилань

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

1. Генеральний план ливарного заводу 1л. ф – А1

2. Однолінійна схема розподільчої мережі 110/10 кВ 1л. ф – А1

3. Розрахункова схема та схема заміщення для розрахунку струмів КЗ в КТП-2 1л. ф – А1

4. Схема електропостачання цеху механічної обробки 1л. ф – А1

5. Засоби для підвищення енергоефективності АД 1л. ф – А1

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Обґрунтування економічної ефективності	Мельник Л. М.. д.е.н., доцент		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Стручок В. С. ст. викл.		
Екологія	Зварич Н. М. к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання **02 вересня 2019 року****КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	15.09.2019	
2	Аналітична частина	25.09.2019	
3	Науково-дослідна частина	10.10.2019	
4	Технологічна частина	01.11.2019	
5	Проектно-конструкторська частина	20.11.2019	
6	Спеціальна частина	01.12.2019	
7	Обґрунтування економічної ефективності	10.12.2019	
8	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	10.12.2019	
9	Екологія	10.12.2019	
10	Висновки	15.12.2019	
11	Оформлення пояснювальної записки	20.12.2019	
12	Оформлення графічної частини	20.12.2019	

Студент _____
(підпис)Воловик В. В. _____
(прізвище та ініціали)Керівник проекту (роботи) _____
(підпис)Євтух П. С. _____
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Воловик В. В. "Підвищення надійності електропостачання споживачів ливарного заводу" 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕМ-61. – Тернопіль.: ТНТУ, 2019.

Стор.– 111; рис. - 33 табл. - 23; креслень - 5; джерел - 19; додатків - –.

Об'єктом дослідження є електричні мережі ливарно-механічного заводу, а також методи та засоби підвищення енергоефективності асинхронних двигунів.

Предметом дослідження є якість електроенергії в розподільних електричних мережах.

Основною метою роботи є підвищення надійності електропостачання споживачів ливарно-механічного заводу шляхом модернізації основних складових частин системи електропостачання, а саме головної трансформаторної підстанції 110/10 кВ та цехових трансформаторних підстанцій 10/4 кВ, чим усунуться наявні проблеми, на зразок недостатньої потужності силових трансформаторів.

Для утримання показників якості електроенергії в межах існуючих норм проведено дослідження методів і засобів зниження рівня несиметрії та несинусоїдальності напруги шляхом впровадження додаткових технічних засобів. Досліджено ефективність впровадження таких технічних рішень з точки зору економічної ефективності. Розроблено заходи щодо безпечної роботи підстанцій заводу.

Ключові слова: Електропостачання, трансформаторна підстанція, показники якості електроенергії, асинхронний двигун.

ANNOTATION

Volovyk V. Improving the reliability of power supply to consumers of the foundry factory. 141 Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics. Ternopil Ivan Puluj National Technical University. Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering. Chair of Electrical Engineering EEM-61. – Ternopil.: TNTU, 2019.

Page – 111; Illustrations – 33; Tables – 23; Blueprints – 5; Sources – 19; Applications – -.

The object of research is the electrical network of casting-mechanical plant and methods and means of improving energy efficiency of induction motors.

The subject of research is the quality of electricity in the distribution electrical networks.

The main purpose of work is improve the reliability of power supply casting-mechanical plant by upgrading major system components power system of plant, namely the main transformer substations 110/10 kV and guild transformer substations 10/4 kV, which to remove existing problems, like insufficient capacity of power transformers.

To keep the power quality parameters within the limits of existing rules performed research of methods and means of reducing the voltage unbalance and nonsinusoidality by implementing additional technical tools. Researched the efficiency of these technical solutions in terms of economic efficiency. Developed measures for the safe operation of the power substation of casting-mechanical plant.

Keywords: POWER SUPPLY, TRANSFORMER SUBSTATION, QUALITY OF ELECTRICITY, ASYNCHRONOUS MOTOR.

ВСТУП

Актуальність теми. У зв'язку з існуючою проблемою енергозбереження на промислових підприємствах України велика увага приділяється впровадженню заходів, здатних забезпечити виконання основних технологічних процесів із значною економією енергоресурсів. При організації електропостачання та електроспоживання існує одна загальна і досить серйозна задача – поліпшення і оптимізація показників якості електроенергії (ПЯЕ) з метою підвищення ефективності її використання і забезпечення надійності роботи електрообладнання.

Проте, в більшості випадків, при проектуванні системи електропостачання, до уваги беруться лише показники якості електроенергії на ввідних лініях електропостачання підприємства. Керуючись отриманими даними приймаються хибні рішення щодо симетрування напруги та компенсації реактивної енергії, у яких позитивний ефект значно нижчий за витрати на впровадження таких рішень.

Тому актуальним у таких випадках є комплексна оцінка якості електроенергії усього підприємства та застосування окрім групових методів підвищення ПЯЕ ще й певних фільтрів безпосередньо біля обладнання, де якість електроенергії значно відхиляється від встановлених норм.

Мета і завдання дослідження.

Метою дипломної роботи є підвищення надійності електропостачання споживачів ливарного заводу шляхом модернізації основних складових частин системи електропостачання а саме головної трансформаторної підстанції 110/10 кВ та цехових трансформаторних підстанцій 10/4 кВ, чим усунуться наявні проблеми, на зразок недостатньої потужності силових трансформаторів.

Відповідно до вказаної мети розв'язувалися наступні завдання:

– аналіз схеми електропостачання та графіка електричного навантаження підприємства, з метою визначення доцільності модернізації;

- аналіз можливості та доцільності використання сучасного комутаційного обладнання у спроектованій схемі електропостачання, його вибір та перевірка за умовами термічної та електродинамічної стійкості;

- аналіз можливості та доцільності впровадження засобів та методів покращення показників якості електроенергії в діючій електричній мережі.

Об'єкт дослідження – електричні мережі ливарного заводу.

Предмет дослідження – якість електричної енергії в розподільних мережах на промисловому підприємстві.

Наукова новизна отриманих результатів:

- дістало подальший розвиток дослідження засобів та методів покращення якості електричної енергії в діючих електромережах, які дають змогу підвищити ККД асинхронних двигунів та продовжити термін служби електрообладнання, що працює в мережах з неякісною електроенергією.

Практичне значення отриманих результатів. Основним практичним значенням роботи є:

- проведено модернізацію схеми електропостачання заводу, що дозволила підвищити надійність електропостачання, зменшити ймовірність аварій і , як наслідок, недовипуску продукції та простою електрообладнання;

- запропоновано технічні засоби та способи покращення якості електроенергії шляхом створення резонансу струмів на частоті однієї з вищих гармонік і додаткового елемента для забезпечення контуру короткого замикання для іншої гармоніки.

Апробація. Основні положення та результати досліджень доповідались та обговорювались на VIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів "Актуальні задачі сучасних технологій", на базі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 8 розділів, висновків, переліку посилань (19 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 111 сторінок.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Коротка характеристика проектованого об'єкту

У дипломній роботі розробляється схема електропостачання ливарно-механічного заводу, основними виробами якого є комплектуючі деталі до автомобільної промисловості. У технологічному ланцюжку по випуску продукції беруть участь наступні цехи: ливарний, ковальсько-пресовий, цех механічної обробки, зварювальний і малярно-обробний. В даному випадку для проектування вибраний цех механічної обробки.

Заводські потужності і технологія виробництва дозволяють робити ремонт і виготовляти деякі види запасних частин широкого спектру модифікацій, включаючи великогабаритні.

Більшість споживачів є трифазними, живляться змінним струмом промислової частоти 50 Гц, напругою 380 В. Більшість споживачів в цехах є стаціонарними і мають тривалий режим роботи.

Планована кількість цехів – 10, планована чисельність робітників і службовців – 800. Режим роботи заводу – двозмінний. Підприємство відноситься до середніх – зі встановленою потужністю 8 МВт.

Усі будівлі і споруди знаходяться на території заводу, за територією заводу споживачів електроенергії немає. Живлення заводу здійснюється від тупикової підстанції 110/10 кВ. Крім того на території заводу є компресорна, обладнана синхронними двигунами.

Генплан підприємства і план розташування обладнання в цеху приведені в графічній частині. По необхідній мірі безперебійності електропостачання приймачі електроенергії заводу відносяться до першої і другої категорій.

Доля електроспоживання електроприймачів першої і другої категорії складає приблизно 60% від загальнозаводських потужностей. 30 % електроприймачів заводу розраховані на напругу 6 кВ. Інші електроприймачі заводу низьковольтні, розраховані на напругу 380 В.

Живлення здійснюється від двох трансформаторів ТДН-10000/110, кожен з яких в післяаварійному режимі (вихід з ладу одного з них) здатний повністю, з урахуванням допустимого 75%-го перевантаження, забезпечити живлення усіх споживачів 1-ої та 2-ої категорії.

1.2 Причини відхилення показників якості електроенергії від нормованих

При виборі заходів по поліпшенню роботи електрообладнання в умовах неякісної електроенергії необхідно з'ясувати причини погіршення її якості, визначити фактичні значення нормованих показників і зіставити останні з допустимими. Слід зазначити, що незважаючи на усю актуальність питання, нині відсутні зведення про комплексну оцінку стану якості електроенергії в мережах промислових підприємств нашої країни.

До виключення слід віднести хіба що дослідження якості електроенергії в цехових мережах Алчевського металургійного комбінату [11]. Як і на інших аналогічних підприємствах України, основними споживачами тут є електроприводи прокатних станів чорнових і заготівельних клітей. Потужність таких приводів складає, як правило, декілька мегават. Модернізація, пов'язана із заміною системи «генератор-двигун» (Г-Д) системою перетворювач тиристор-двигун (ТП-Д), привела до поліпшення їх регулювальних властивостей. В той же час, системи ТП-Д зумовили істотне погіршення якості електроенергії в цехах таких підприємств.

Використання систем ТП-Д на головних приводах прокатних станів призводить до істотного спотворення цехової напруги. У мережі є присутніми навіть вищі гармоніки 23-38 порядку, причому як парні, так і непарні. Коефіцієнти окремих гармонійних складових перевищують допустимі значення в 5-7 разів. На рис. 1.1. представлені отримані авторами копії звітних документів, які отримані з цих досліджень.

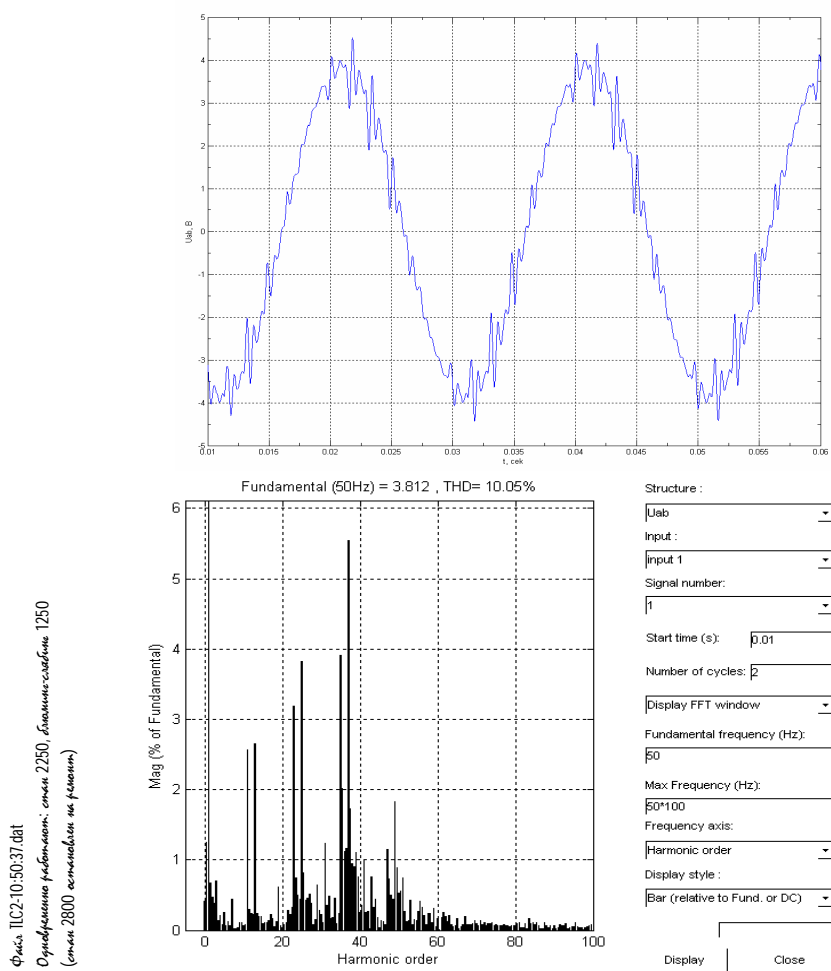


Рисунок 1.1 – Копії звітних документів аналізу гармонійних складових живлячої мережі 6 кВ підстанції «Прокат-110» ВАТ «АМК»

Відмітимо, що питання впливу систем ТП-Д на якість електроенергії досить детально досліджується з моменту масового застосування таких приводів, тобто з 70-х років минулого століття. Проте вказана проблема є тільки частиною питання низької якості електроенергії в цехах промислових підприємств України. У роботі [11] також розглядаються тільки системи ТП-Д, а відомі вже «класичні» публікації [4,5], на сьогодні істотно застаріли, оскільки з'явилися нові технологічні установки, змінилася структура енергоспоживання підприємств.

Таким чином, потрібні глибші дослідження по з'ясуванню причин типових спотворень електроенергії, їх якісних і кількісних характеристик. На підс-

таві такого аналізу і повинна будуватися методика обґрунтування раціональних заходів по боротьбі з негативними наслідками низької якості електроенергії.

Характер несинусоїдальності, тобто гармонічний склад напруги, визначається особливостями технічних об'єктів (установок), що викликали спотворення, режимом їх роботи, параметрами системи електропостачання та іншими чинниками. На підставі отриманих нами результатів додаткових досліджень [12] можна дати характеристику головних причин даних спотворень.

Так однією з причин несинусоїдальності, що часто зустрічається, особливо в мережах малої потужності, є насичення осердь силових трансформаторів цехових підстанцій. Цей випадок характерний для невеликих підприємств, а також технологічних об'єктів сільського господарства. Насичення магнітопровода вказаних трансформаторів може бути обумовлене роботою нагрівальних елементів, зварювального обладнання та інших потужних споживачів. Типова крива живлячої напруги при цьому має «усічений» вигляд, а в його спектральному складі яскраво виражена третя гармоніка рис. 1.2 (а, б).

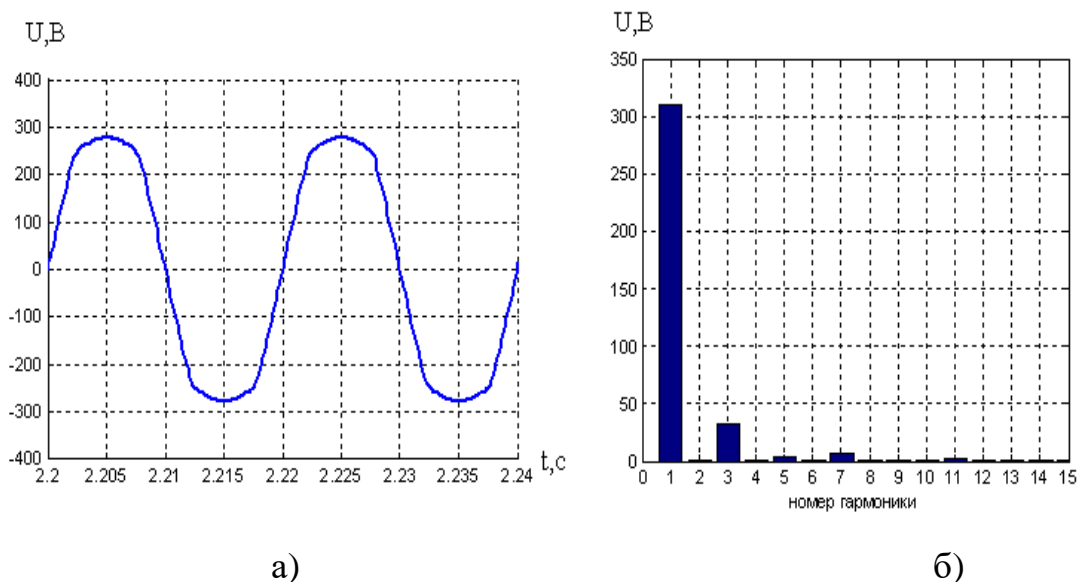


Рисунок 1.2 – Типова форма кривої напруги у разі насичення осердь силових трансформаторів (а) і його спектральний склад (б)

Як відомо, треті гармоніки шкідливі для АД і трансформаторів, первинні обмотки яких сполучені в трикутник. Це пов'язано з тим, що вони утворюють

нульову послідовність, опір електричних обмоток на якій невеликий (визначається індуктивностями розсіювання), а вказане з'єднання забезпечує контур для протікання струмів третьої гармоніки. В результаті збільшуються втрати, підвищується температура обмоток і падає здатність навантаження розглянутого електроустаткування.

Іншою поширеною причиною спотворення синусоїдальності є наявність в мережі потужних напівпровідникових перетворювачів. У моменти комутації таких пристроїв, споживані ними струми мають пікові значення, в результаті на входах інших споживачів спостерігаються «провали» напруги рис.1.3 (а).

Приведена форма кривої характерна для цехових мереж великих промислових підприємств, таких як металургійні, нафтопереробні і гірничо-збагачувальні комбінати, де встановлені потужні регульовані електроприводи з випрямлячами або перетворювачами частоти. Досвід свідчить, що, незважаючи на заходи, що вживаються, по підвищенню електромагнітної сумісності, показники якості живлячої напруги в таких випадках все ж перевищують граничні рівні допустимих значень.

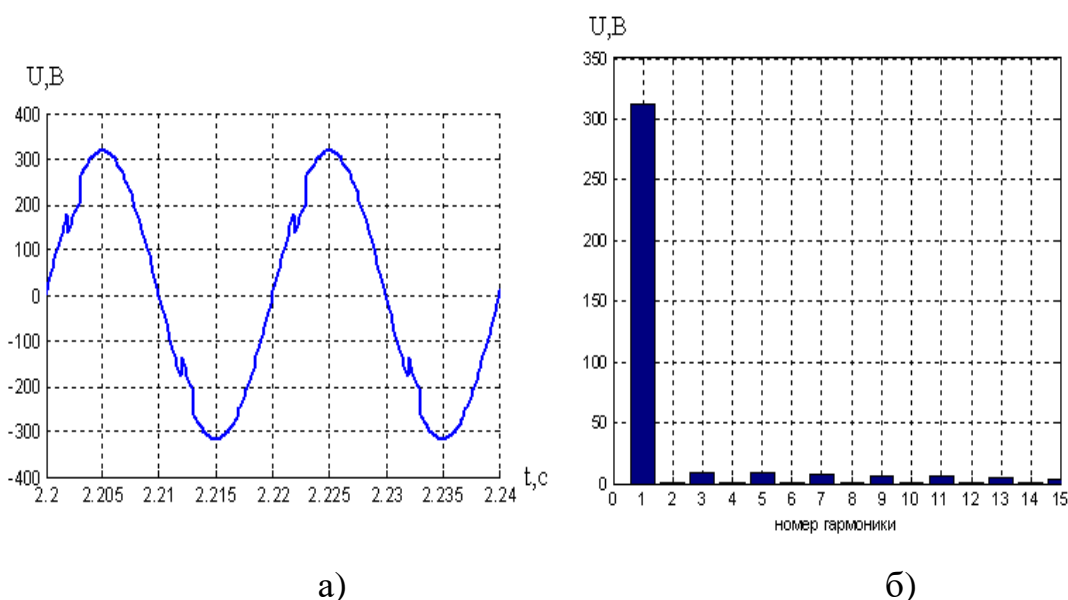


Рисунок 1.3 – Форма кривої напруги за наявності комутаційних перешкод (а) і його спектральний склад (б)

У спектральному складі напруги, спотвореної напівпровідниковими перетворювачами, є практично усі гармоніки вищого порядку рис. 1.3 (б). Хоча во-

ни і слабо впливають на пульсації моменту АД [7,8,11], проте викликають додаткові втрати в сталі вказаних двигунів і трансформаторів, обумовлюють їх підвищений нагрів, що і призводить до зниження енергоефективності і надійності електрообладнання.

За наявності в цеховій мережі потужних споживачів, що живляться від напівпровідникових перетворювачів з фазоімпульсним регулюванням (гальванічні ванни, дугові печі), порушується симетрія синусоїди напруги, а в спектрі з'являється яскраво виражена друга гармоніка рис.1.4 (а, б).

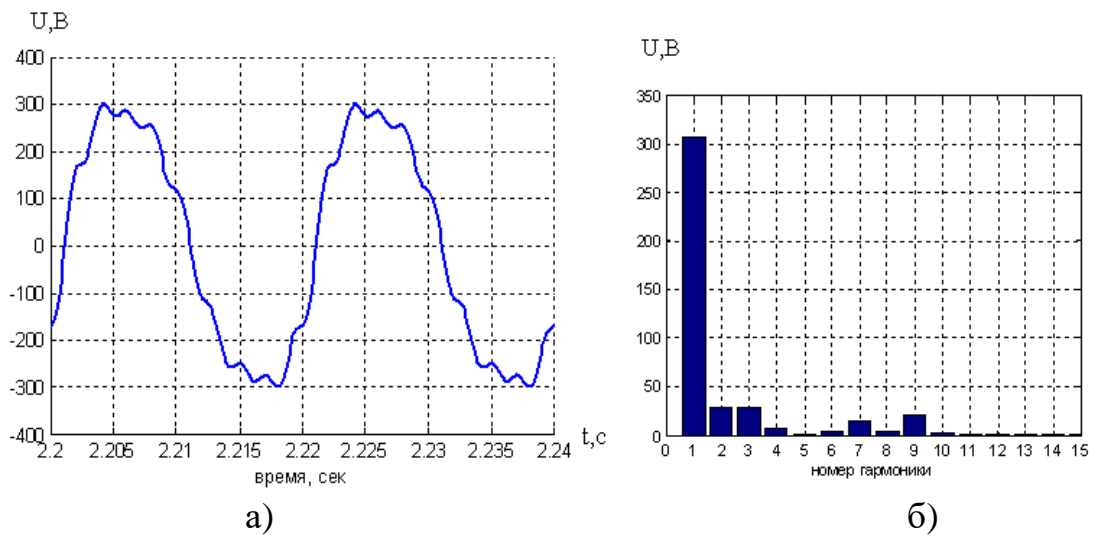


Рисунок 1.4 – Форма кривої напруги з переважаючою другою гармонікою (а) і її спектральний склад (б)

Остання, як відомо, обумовлює протікання струмів зворотної послідовності, утворюючи, таким чином, гальмівний електромагнітний момент на валу двигуна. Підвищуються також вібрації в механічній частині, прискорюється знос і знижується надійність обладнання.

1.3 Кількісна оцінка показників якості електроенергії в цехових мережах промислових підприємств

Реально отримані [9] осцилограми напруги в умовах конкретних промислових підприємств підтверджують відомості про наявність в їх цехових мере-

жах неякісної електроенергії. Так, на рис. 1.5 (а) показана крива лінійної напруги цеху крекінгу нафтопереробного заводу (НПЗ) «Укртатнафта», в спектрі якого рис.1.5 (б) міститься велика кількість вищих гармонік. Тут для зручності відображення амплітуда першої (основної) гармоніки показана не повністю.

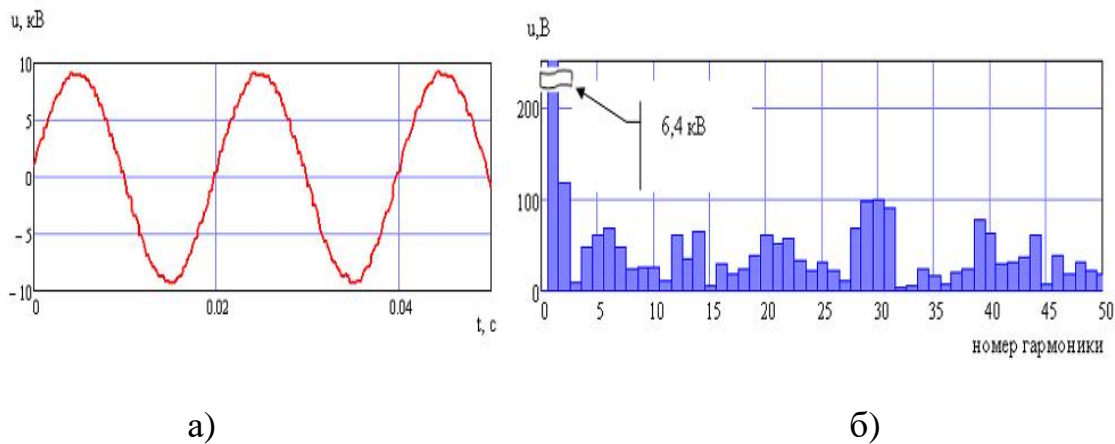


Рисунок 1.5 – Осцилограма лінійної напруги підстанції крекінгового цеху нафтопереробного заводу (а) і його спектральний склад (б)

Показники якості напруги в даному випадку приведені в табл. 1.1, яка відображає нормально і гранично допустимі значення коефіцієнтів гармонічних складових мережевої напруги $K_{U(n)}$ і його реальні значення по фазах. Жирним шрифтом виділені перевищення допустимих величин.

Проте, розраховане для даного випадку значення коефіцієнта спотворення синусоїдальності кривої напруги K_U відповідно до [3] для усіх трьох фаз не перевищило 3,6%, що задовольняє вимогам якості електроенергії. Так, в досліджуваному випадку, попри те, що k_U не перевищив нормально допустиме значення (5%), виявляється невідповідність живлячої напруги вимогам якості по коефіцієнту гармонічних складових (гармоніки №№ 6, 8, 10, 12, 14, 16).

Таблиця 1.1 – Показники якості електроенергії в цеху крекінгу НПЗ

№ гармоніки	Нормальне допустиме значення коефіцієнта $k_{U(n)}$ для мережі 6 кВ, %	Граничне допустиме значення коефіцієнта $k_{U(n)}$ для мережі 6 кВ, %	Реальні значення		
			Фаза «АВ» $k_{U(n)}$, %	Фаза «ВС» $k_{U(n)}$, %	Фаза «СА» $k_{U(n)}$, %
4	0,7	1,05	0,87	0,32	0,55
6	0,3	0,45	0,91	0,91	0,55
8	0,3	0,45	0,49	0,19	0,60
10	0,3	0,45	0,28	0,66	0,23
12	0,2	0,35	0,60	0,55	0,52
14	0,2	0,35	0,60	0,31	0,50
16	0,2	0,35	0,48	0,07	0,35

На рис. 1.6 показані осцилограми лінійної напруги і їх спектральний склад цеху механічної обробки ТОВ «Завод монтажних виробів» м. Дніпро. Така форма кривих обумовлена завантаженістю цехової підстанції і наявністю потужної індукційної установки для загартування. У представленому випадку, на відміну від попереднього, окремі гармоніки знаходяться в допустимому діапазоні, проте коефіцієнт спотворення синусоїдальності складає 8,4%, тобто перевищує нормально допустиме значення.

В якості наступного прикладу розглянемо цехові мережі Запорізького трансформаторного заводу. Електропостачання його технологічних споживачів здійснюється за допомогою двох трансформаторних підстанцій 6 кВ/0,4кВ, через розподільчу систему, протяжністю 124 км. Обробка статистичних даних, набраних на введенні підприємства, показала, що істотних відхилень по ПЯЕ немає. Максимальне і мінімальне значення коефіцієнта спотворення синусоїдальності кривої напруги склало 0,75% і 0,32% відповідно. Вказані значення коефіцієнта несиметрії по зворотній послідовності (K_{2U}) виявилися рівними 0,9% і 0,38% .

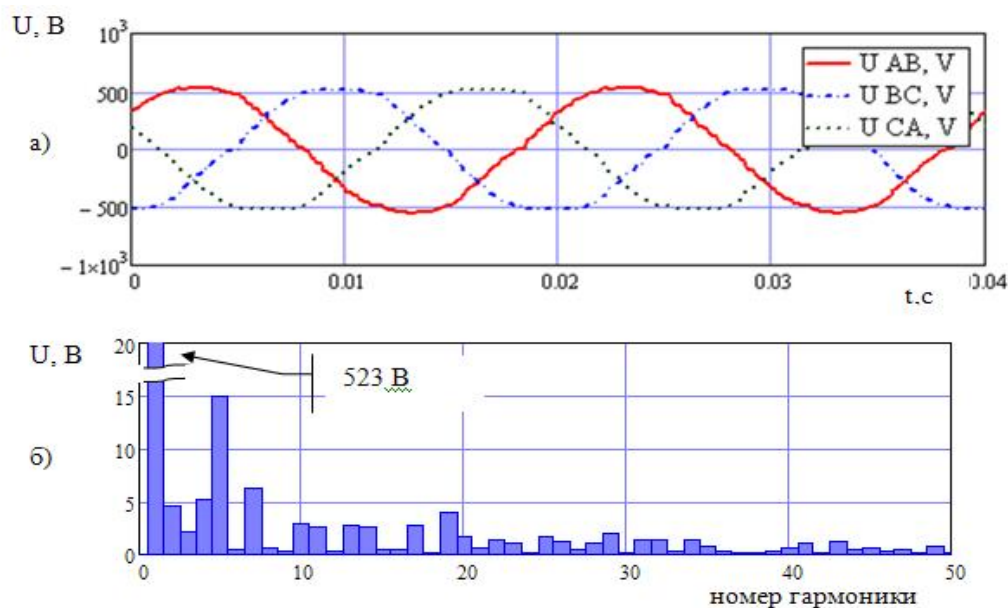


Рисунок 1.6 – Осцилограми (а) і спектральний склад (б) лінійної напруги підстанції механічного цеху

В якості цехових мереж цього підприємства для розгляду були узяті ті, де сконцентрована найбільша кількість різнотипних споживачів, у тому числі таких, які погіршують ПЯЕ: механічного, зварювального, деревообробного і ливарного цехів. У табл. 1.2 показаний відсоток споживачів по встановленій потужності у вказаних цехах ВАТ «ЗТЗ», з якої видно, які з них є винуватцями відхилень ПЯЕ.

Аналіз режиму електроспоживання цього підприємства показав, що на показники якості електроенергії значною мірою впливають електроприймачі зварювального цеху, в якому встановлені випрямлячі з мостовою схемою; ливарного цеху, в якому знаходяться ванни металопокриття з живленням від вентильних перетворювачів постійного струму, що збільшують коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги.

Звідні показники якості живлячої напруги усіх розглянутих підприємств приведені в табл. 1.3. Жирним шрифтом виділені ті з них, які перевищують нормально допустимі величини.

Таблиця 1.2 – Показники якості електроенергії в цехах ВАТ «ЗТЗ»

Найменування цеху	% від встановленої потужності				
	Споживачі не впливають на ПЯЕ		Споживачі, що впливають на ПЯЕ		
	Верстат з АД	Печі обпалювання	Зварювальне обладнання	Ванни металопокриттів	Індукційні печі
Механічний	92,5	5	2,5	-	-
Зварювальний	27,3	2,7	70	-	-
Деревообробний	98	-	-	-	-
Ливарний	5,9	34,4	-	50	9,6

Таблиця 1.3 – Звідні показники якості електроенергії в цехах розглянутих підприємств (за даними експериментів)

Підприємство	Цех	Показники якості електроенергії			
		$k_U, \%$	$k_U(v)\%$	$\delta U, \%$	$K_{2U}, \%$
ВАТ «ЗТЗ»	Механічний	2...4	0,07...0,14	-5...+4	1,7...1,9
	Зварювальний	8...12	0,07...0,15	-9...+5	1,5... 3,6
	Деревообробний	1,2...2	0,08...0,14	-5...+ 6	1,1...2,2
	Ливарний	7... 11	0,07...0,15	-7...+5	2...3,5
Нафтопереробний завод	Крекінг	2,6...4,6	0,35...0,91	-1...+1	0,5...1,2
	Ректифікації	2,3...4,3	0,01... 0,02	-1,2...+1	1...1,5
	Цех фільтрації	0,1...0,3	0,01...0,02	-1...+1	0,2...1,8
Завод монтажних виробів	Механічної обробки	7,4...9,4	0,01...0,02	- 0,5...+0,5	1...1,5
	Ремонтний	0,9...2,9	0,01.. 0,02	-1...+1	0,3...1,7
	Інструментальний	1,8...3,8	0,01.. 0,02	-1,2...+1	1...2

Так, на підприємстві ВАТ «ЗТЗ» найбільше відхилення ПЯЕ від допустимих значень зафіксоване в зварювальному і ливарному цехах, що негативно впливає на роботу споживачів, що знаходяться в них. Високий відсоток спотворення синусоїдальності кривої напруги негативно позначається на технічному стані верстатів і механізмів з асинхронним електроприводом. Зростають також сумарні втрати електричної енергії, знижується якість випрямленого струму перетворювальних установок, необхідного для гальванічного виробництва. Не-

відповідність значення коефіцієнта несиметрії по зворотній послідовності нормально допустимому значенню призводить до виникнення магнітних полів, що обертаються зустрічно ротору АД, що викликають вібрації і руйнування підшипників.

Таким чином, аналіз типових спотворень і кількісна оцінка показників якості електроенергії в цехових мережах розглянутих промислових підприємств дозволяє зробити наступні висновки, про те, що якість електричної енергії в цехових мережах багатьох підприємств України не відповідає вимогам стандартів. У них є присутніми спотворення, обумовлені роботою напівпровідникових перетворювачів, насиченням магнітопроводів трансформаторів і так далі

Звертає на себе увагу і те, що при відповідності вимогам ГОСТу коефіцієнта спотворення синусоїдальності кривої напруги, по окремих гармоніках спостерігається істотне перевищення значень коефіцієнтів гармонічних складових мережевої напруги. А це свідчить про перевагу використання останніх при аналізі енергоефективності АД, що працюють в мережах з неякісною електроенергією.

Якість електроенергії на вході підприємства і по його цехах істотно відрізняється. Таким чином, одні і ті ж споживачі, що знаходяться в різних цехах, працюють з різною енергоефективністю, обумовленою відхиленнями ПЯЕ від ГОСТ і вимагають індивідуального підходу при вирішенні питання про необхідність їх захисту.

1.4 Способи підвищення якості електроенергії в умовах промислових підприємств

Виходячи з вищевикладеного очевидно, що у енергетиків підприємств виникає необхідність використання засобів по зменшенню негативного впливу неякісної електроенергії на енергоефективність виробництва. Можливими шляхами вирішення цієї проблеми є: застосування «індивідуальних» LC - фільтрів [18] для захисту особливо відповідальних електроприводів;

застосування «групових» пристроїв для компенсації впливу неякісної електроенергії на рівні цеху, таких як силові активні випрямлячі, з можливою їх інтеграції в існуючі перетворювачі для регульованого електроприводу; пригнічення спотворень живлячої напруги в місцях їх виникнення, тобто захист мережі від першопричини. Останнє визначається специфікою даного обладнання і може включати модернізацію силових частин електроприводу і систем автоматичного регулювання, коректний вибір параметрів електроприводу і так далі

Допускається і відмова від вжиття яких-небудь заходів, у разі їх економічної недоцільності. Дійсно, кожен з вказаних варіантів характеризується конкретними заходами: вартістю впровадження і очікуваним економічним ефектом. Проте, незважаючи на актуальність даного завдання, в Україні досі немає єдиної методики ухвалення економічно обґрунтованих рішень по зменшенню негативної дії неякісної електроенергії на енергоефективність виробництва.

Розглянемо основні використовувані способи підвищення якості електроенергії в мережах підприємств або їх цехів [19]. Вони класифікуються за показниками якості, поліпшення яких передбачається – несиметрія, спотворення синусоїдальності і так далі. Нині найбільш перспективні розробки в цій області ведуться в наступних напрямках:

- активна фільтрація живлячої напруги;
- застосування пасивних резонансних фільтрів.

Активні фільтри [6] для трифазних споживачів є, по суті, автономні інвертори, в ланці постійного струму яких встановлений конденсатор. Принцип дії такого пристрою полягає в перерозподілі напруги між фазами за рахунок енергії, що накопичується в ємнісному елементі. Для цього в систему керування ключами інвертора вводиться сигнал завдання на синусоїдальний струм в кожній фазі, а також сигнал зворотного зв'язку по струмах у фазах живлячої мережі.

Спрощена принципова схема такого пристрою показана на рис. 1.7.

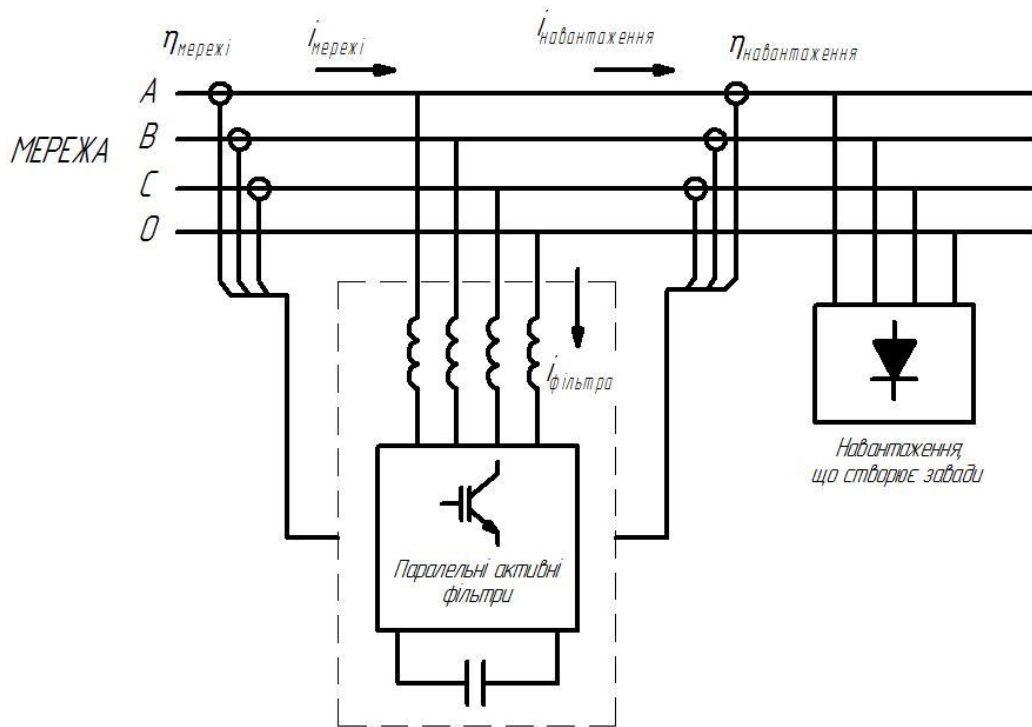


Рисунок 1.7 – Спрощена принципова схема силового активного фільтру

Безперечною перевагою активних фільтрів є:

- можливість адаптації до поточних форм кривої фазної напруги;
- незалежність працездатності активного фільтру від рівня навантаження споживачів;
- компенсація як несинусоїдальності, так і несиметрії фазної напруги;
- можливість використання активного фільтру для компенсації спотворень живлячої напруги декількома споживачами;
- корекція коефіцієнта потужності споживачів.

Мабуть, єдиним недоліком активних фільтрів є їх висока вартість. При необхідності компенсації реактивної складової потужності, наприклад, під час пуску, силові ключі слід вибирати з розрахунку на потужність того ж порядку, що і потужність споживачів. Це робить такий пристрій за вартістю близький до вартості частотного перетворювача.

Між тим, сучасний частотний перетворювач повністю вирішує проблеми неякісної живлячої напруги по відношенню до АД і, крім того, надає масу додаткових переваг, що не забезпечуються активним фільтром. До них слід відне-

сти можливість здійснення плавного пуску з контрольованими струмами і моментом, регулювання швидкості виробничого механізму, реалізація зворотних зв'язків і захистів за технологічними параметрами і так далі

Таким чином, активні фільтри, частенько, виявляються необгрунтованим технічним рішенням. Перспективним напрямом є інтеграція функцій активних фільтрів в потужні частотні перетворювачі. У такий спосіб можна одночасно регулювати швидкість одного з механізмів і здійснювати «групову» корекцію живлячої напруги.

Пасивними фільтрами [19] називають послідовні і паралельні LC-кола, налагоджені, як правило, на резонансні режими. На рис. 1.8 показана схема підключення індивідуальних пасивних LC-фільтрів для захисту асинхронного двигуна. Головною їх перевагою є низька вартість. Крім того пасивні фільтри довговічні, фактично не вимагають наладки, обслуговування і ремонту.

До недоліків пасивних фільтрів слід віднести:

- неможливість корекції несиметрії живлячої напруги;
- нестійкість резонансних режимів для деяких типів фільтрів через дрейф параметрів споживачів.

В цілому ж для ефективного застосування індивідуальних пасивних фільтрів фахівцеві слід вирішити наступні завдання:

- вибрати тип фільтру, який якнайкраще коригує напругу на вході АД;
- визначити параметри фільтру (індуктивність і ємність), при яких забезпечується найкраща робота АД;
- знайти компроміс між технічними вимогами (індуктивність, ємність, потужність елементів) і вартістю технічного рішення, тобто зробити техніко-економічне обгрунтування.
- Розглянемо основні способи підвищення якості електроенергії в умовах усього підприємства або його цеху [6]. Способи класифікуємо за показниками якості, підвищення яких вони забезпечують – несиметрія, спотворення синусоїдальності і так далі.

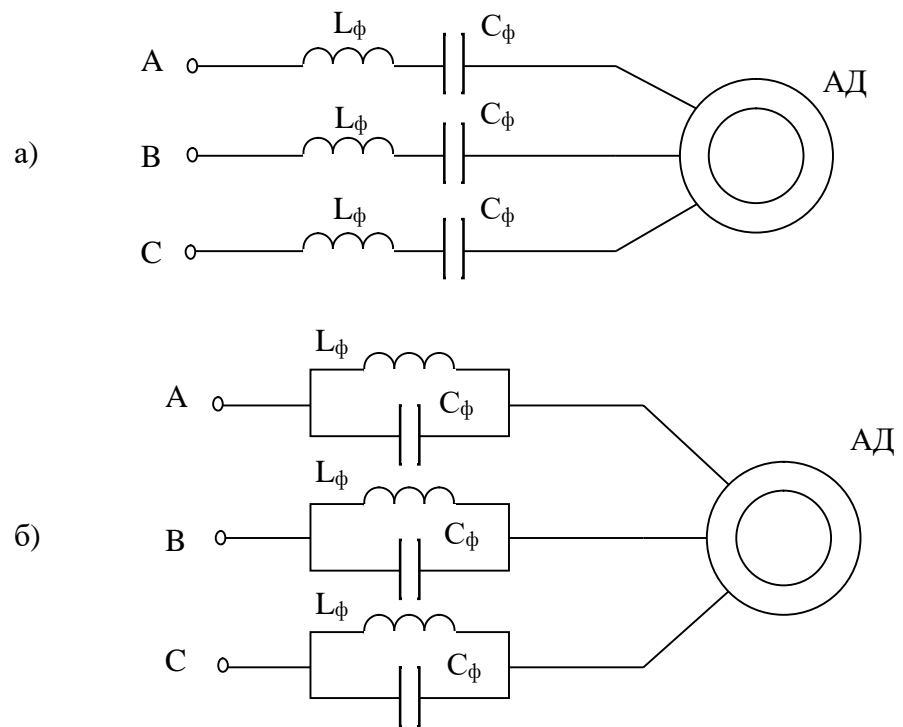


Рисунок 1.8 – Схеми підключення послідовних (а) і паралельних пасивних LC-фільтрів.

Несиметрію напруги, обумовлену нерівномірним розподілом між фазами електроприймачів, можна обмежити до гранично допустимих значень за допомогою схемних рішень або шляхом застосування спеціальних симетруючих пристроїв [10]. За допомогою останніх компенсується еквівалентні струми зворотної послідовності несиметричного навантаження і обумовлена ними напруга. Розрізняють індивідуальний, груповий, централізований і комбінований способи симетрування.

Індивідуальні симетруючі пристрої встановлюються безпосередньо біля електроприймачів. При груповому симетруванні в різних точках мережі встановлюється декілька даних пристроїв, кожен з яких забезпечує певну ділянку мережі з підключеною до нього групою несиметричних електроприймачів. При централізованому симетруванні в розподільній мережі встановлюється один такий пристрій. Комбінований спосіб полягає в поєднанні двох або трьох симетруючих пристроїв.

Індивідуальний спосіб дозволяє усунути несиметрію безпосередньо у споживача, але при цьому встановлена потужність силових елементів таких захисних пристроїв використовується нерационально. При централізованому способі потрібно меншу встановлену потужність елементів симетруючих пристроїв, але в мережі з нерівномірно розподіленими навантаженнями зберігається несиметрія струмів. Груповий же спосіб поєднує переваги і недоліки індивідуального і централізованого способів. Вибір способу симетрування визначається в основному параметрами мережі і характером навантажень.

Симетруючі пристрої виконуються некерованими або керованими залежно від особливостей графіку навантаження. Відоме велике число схем таких пристроїв, які мають як електричні, так і електромагнітні зв'язки між елементами. Розглянемо деякі з них. Так на рис. 1.9 показані спрощені принципові схеми симетрування пристроїв [6].

Знаходять застосування також компенсуючі пристрої [16], фільтри вищих гармонік, що є, зібрані на базі БК симетруючого пристрою, несиметричні фільтри. Спрощена принципова схема фільтрокомпенсуючого пристрою показана на рис. 1.10. Принцип його дії полягає в забезпеченні резонансу напруги на частотах вищих гармонік. Послідовні LC-кола, таким чином, є для останніх колами короткого замикання.

Зниження рівнів вищих гармонік в електромережах є частиною загального завдання зменшення впливу нелінійних навантажень на живлячу мережу і поліпшення якості електроенергії в системах електропостачання підприємств. Комплексне рішення цієї задачі, засноване на застосуванні багатофункціональних пристроїв, опиняється в економічних відносинах доцільнішим, ніж, наприклад, використання заходів по поліпшенню форми мережевого струму перетворювача. Прикладом таких багатофункціональних пристроїв є резонансні фільтри, які називаються фільтрокомпенсуючими пристроями. Вони разом зі зниженням рівнів вищих гармонік генерують в живлячу мережу реактивну потужність.

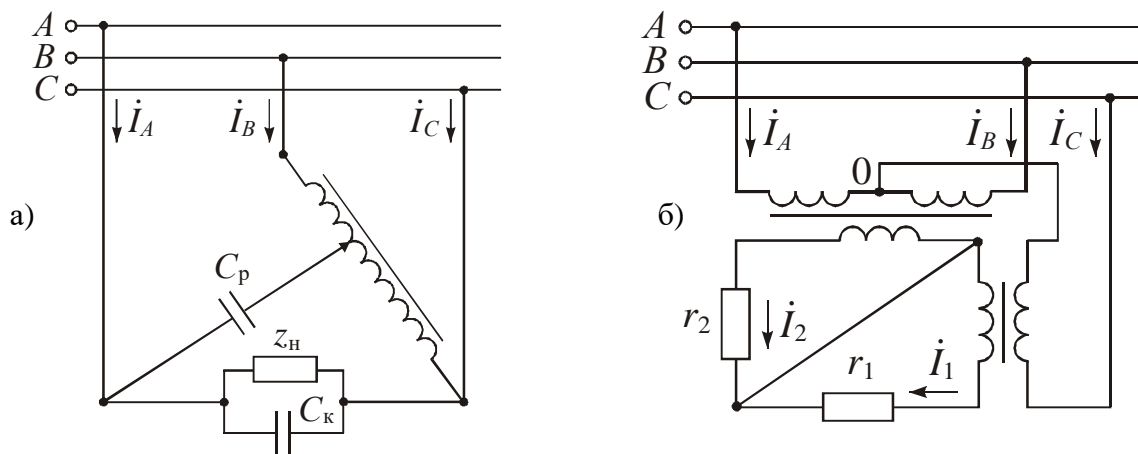


Рисунок 1.9 – Спрощені схеми симетруючого пристрою автотрансформаторного (а) і трансформаторного (б) типів

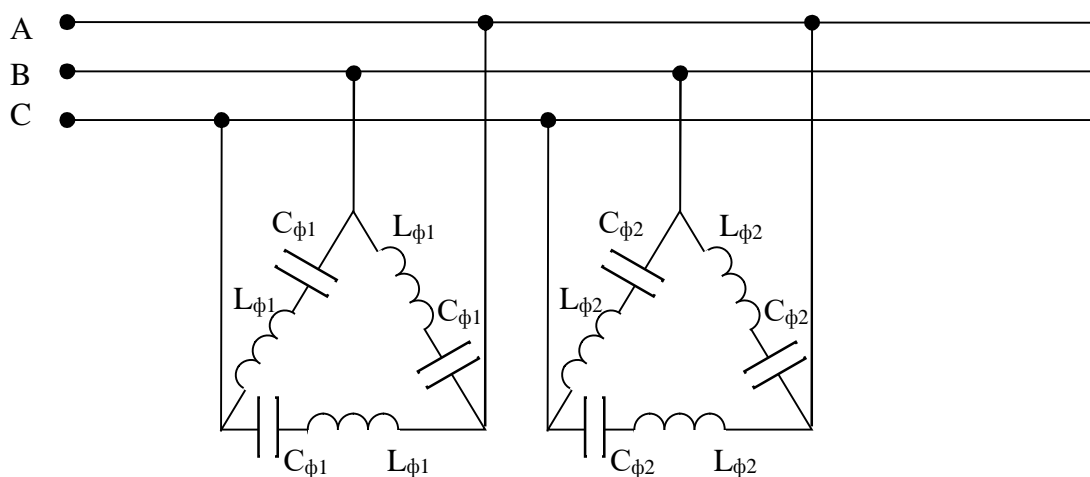


Рисунок 1.10 – Спрощена принципова схема фільтрокомпенсуючого пристрою

При паралельному з'єднанні LC -кіл, налаштованих на частоти окремих гармонік, реалізується коловий фільтрокомпенсуючий пристрій. Дефіцит реактивної потужності на шинах підстанції в цьому випадку може бути повністю покритий за допомогою батарей конденсаторів, причому встановлена потужність конденсаторів використовується на 80-90 %. Таким чином, фільтрокомпенсуючі пристрої є найбільш простими і економічними фільтрами, що забезпечило їх широке застосування.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок електричних навантажень

2.1.1 Загальні відомості

Визначення електричних навантажень є першим етапом проектування будь-якої системи електропостачання. За значенням електричних навантажень вибирають і перевіряють електрообладнання систем електропостачання, визначають втрати потужності і електроенергії. Від правильної оцінки очікуваних навантажень залежать капітальні вкладення на систему електропостачання, експлуатаційні витрати, надійність роботи електрообладнання.

При проектуванні системи електропостачання або аналізу режимів її роботи споживачі електроенергії (окремий приймач електроенергії, група приймачів, цех або завод в цілому) розглядають в якості навантажень.

Засадничими при цьому будуть два показники: потужність (P – активна, Q – реактивна, S – повна) і електричний струм – I .

Режими роботи приймачів електроенергії різноманітні і змінюються в часі. Для характеристики споживаної потужності користуються наступними поняттями:

- номінальна активна потужність приймача електроенергії – це потужність, вказана на заводській табличці або в паспорті приймача електроенергії, при якій приймач електроенергії повинен працювати. Стосовно багаторухових приводів, виключаючи установки кранів, під терміном «приймач електроенергії» розуміють увесь агрегат в цілому, а під його номінальною потужністю – суму номінальних потужностей усіх його електродвигунів (приведених до тривалості включенні $ПВ = 1$). Для приймачів повторно-короткочасного режиму роботи номінальну потужність визначають по паспортній потужності шляхом приведення її до тривалого режиму роботи ($ПВ=1$);

- під номінальною реактивною потужністю приймача електроенергії розуміють реактивну потужність, що споживається з мережі (знак плюс) або віддається в мережу (знак мінус) при номінальній активній потужності і номінальній напрузі.

Номінальну потужність (активну $P_{ном}$ і реактивну $Q_{ном}$) групи приймачів визначають як алгебраїчну суму номінальних потужностей окремих приймачів, приведену до $ПВ=1$.

Для характеристики змінного навантаження приймачів електроенергії за даний інтервал часу визначають середні навантаження. Середня (активна і реактивна) потужність групи приймачів є сумою середніх потужностей окремих приймачів, що входять до групи. Залежно від інтервалу усереднення розрізняють середні навантаження за максимально завантаженою зміну, середньомісячні і середньорічні навантаження. По середньозмінному навантаженні визначають розрахункове навантаження, а по середньорічному – річні втрати електроенергії.

Визначення розрахункових навантажень виконується від нижчих до вищих ступенів систем електропостачання по окремих розрахункових вузлах в мережах напругою до і вище 1 кВ. Розрахунок електричних навантажень характерних вузлів системи електропостачання виконується з метою вибору перерізів живлячих і розподільних мереж напругою до і вище 1000 В, числа і потужності трансформаторів ТП і ГПП, перерізів шин розподільчих пристроїв ТП, РП і ГПП, комутаційної і захисної апаратури напругою до і вище 1000 В і тому подібне.

2.1.2 Визначення розрахункового навантаження по цехах

Визначення розрахункових навантажень проведемо спрощеним методом, який полягає в наступному:

- задаємося встановленими активними потужностями цехів яким на генплані привласнюється свій порядковий номер;

- за довідковими даними знаходимо середнє значення коефіцієнтів потужності для цього виду виробництва (цеху).
- використовуючи отримані дані, знаходимо розрахункові потужності по цехах, які заносимо у відповідну таблицю.

Знайдемо розрахункову потужність ковальсько-пресового цеху, який позначений на генеральному плані заводу під номером 1.

- задаємося встановленою потужністю $P_{уст} = 350$;
- знаходимо середній коефіцієнт потужності для цього цеху $\cos \varphi = 0,86$;
- визначаємо розрахункову потужність цеху S_p по формулі:

$$S_p = \frac{P_{уст}}{\cos \varphi};$$

$$S_p = \frac{350}{0,86} = 407 \text{ кВА.}$$

Таблиця 2.1 – Розрахункові потужності по цехах

№ з/п	Найменування цеху	$P_{уст}$, кВт	$\cos \varphi$	S_p , кВА
1	Ковальсько-пресовий цех	2000	0,86	2325,58
2	Ливарний цех	2000	0,93	2150,54
3	Цех механічної обробки	300	0,61	491,803
4	Цех компресорний	1550	0,85	1823,53
5	Цех зварювальний	1170	0,51	2294,12
6	Малярно-обробний цех	250	0,85	294,118
7	Фільтровентиляційний цех	120	0,8	150
8	Зарядна для електротранспорту	40	0,88	45,4545
9	Заводські склади	40	0,7	57,1429
10	Їдальня	100	0,93	107,527
11	Цехове і вуличне освітлення	300	1	300
12	Заводоуправління	130	0,95	136,842
Разом:		8000	0,81	10284,9

2.2 Побудова картограми електричних навантажень, визначення їх центру і місцезнаходження ГПП

ГПП є однією з основних ланок системи електропостачання будь-якого промислового підприємства, тому оптимальне розміщення підстанцій на території промислового підприємства – найважливіше питання при побудові раціональних схем електропостачання. Це означає, що розміщення усіх підстанцій повинне відповідати найбільш раціональному поєднанню капітальних витрат на спорудження системи електропостачання і експлуатаційних витрат.

Для визначення місця розташування ГПП при проектуванні системи електропостачання на генеральний план промислового підприємства наноситься картограма навантажень.

Головну понижувальну, розподільну і цехові підстанції слід розташовувати як можна ближче до центру навантажень, оскільки це дозволяє наблизити високу напругу до центру споживання електричної енергії і значно скоротити протяжність як розподільних мереж високої напруги підприємства, так і цехових електричних мереж низької напруги, зменшити витрату провідникового матеріалу і понизити втрати електричної енергії.

Приймаємо навантаження цеху рівномірно розподіленими по площі цеху. Тоді центр навантаження співпадає з центром тяжіння фігури, що зображує цех на плані.

Зважаючи на невелику розрахункову потужність більшості цехів приймаємо рішення про групові трансформаторні підстанції, розташовані на території підприємства. Складаємо картограму навантажень для кожної групи цехів і наносимо координати трансформаторних підстанцій на генеральний план підприємства. Для наочності дані про трансформаторні підстанції зведемо в табл. 2.2.

Центр електричного навантаження підприємства, а значить і теоретичного розташування ГПП визначається за допомогою аналогії системи

мас і електричними навантаженнями цехів P , координати центру можна визначити відповідно до наступних формул:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i};$$

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}.$$

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку центру електричних навантажень для трансформаторних підстанцій

Назва об'єкту	X_i	Y_i	S_p , кВА	S_{mp} , кВА	X_0	Y_0
ГПП						
КТП-1	36	92	1973,53	2×1000	49	60
КТП-2	77	91	3125,5	2×1600		
КТП-3	40	40	4476,12	2×2500		
КТП-4	135	27	601,51	2×400		
Разом			10177			
КТП-1						
Компресорний цех	38	92	1823,53	2×1000	36	92
Фільтровентиляційний цех	12	85	150			
Разом			1973,53			
КТП-2						
Цех механічної обробки	82	75	491,803	2×1600	77	91
Зварювальний цех	65	93	2294,12			
Зарядна для електротранспорту	150	95	45,4545			
Малярно-обробний цех	116	98	294,118			
Разом			3125,5			
КТП-3						
Ковальсько-пресовий цех	20	40	2325,58	2×2500	40	40
Цех ливарний	60	40	2150,54			
Разом			4476,12			
КТП-4						
Їдальня	153	25	107,527	2×400	135	27
Заводоуправління	127	21	136,842			
Цехове і вуличне освітлення	118	22	300			
Заводські склади	116	48	57,1429			
Разом			601,51			

Для КТП-1 вибираємо два трансформатори ТМ-1000/10У1.

Для КТП-2 вибираємо два трансформатори ТМ-1600/10У1.

Для КТП-3 вибираємо два трансформатори ТМ-2500/10У1.

Для КТП-4 вибираємо два трансформатори ТМ-400/10У1.

2.3 Вибір силових трансформаторів

2.3.1 Загальні вимоги до силових трансформаторних підстанцій

Вибір числа і потужності силових трансформаторів для головних понижувальних і цехових трансформаторних підстанцій промислових підприємств має бути технічно і економічно обгрунтованим, оскільки він робить істотний вплив на раціональну побудову схем промислового електропостачання.

Критеріями при виборі силових трансформаторів є надійність електропостачання, витрата кольорового металу і потрібна трансформаторна потужність. Оптимальний варіант вибирається на основі порівняння капіталовкладень і річних експлуатаційних витрат.

Для зручності експлуатації систем електропостачання слід прагнути вибирати не більше двох стандартних потужностей основних трансформаторів. Бажане встановлення трансформаторів однакової потужності.

Цехові трансформаторні підстанції, як правило, не повинні мати розподільного пристрою на стороні вищої напруги. Слід широко застосовувати безпосереднє (глухе) приєднання живлячої кабельної лінії до трансформатора при радіальних схемах живлення і приєднання через роз'єднувача або вимикач навантаження при магістральних схемах живлення. При номінальній потужності трансформатора 1000 кВА і вище замість роз'єднувача необхідно встановлювати вимикач навантаження, оскільки при напрузі 6-20 кВ роз'єднувачем можна відключати струм холостого ходу трансформатора потужністю не більше 630 кВА

При спорудженні цехових трансформаторних підстанцій перевагу слід віддавати комплексним трансформаторним підстанціям (КТП), повністю виготовленим на заводах.

2.3.2 Вибір числа і потужності силових трансформаторів ГПП

Головні понижувальні підстанції і цехові підстанції бажано виконувати з числом трансформаторів не більше двох. Для споживачів третьої і частково другої категорії, можна розглядати варіанти встановлення одного трансформатора зі здійсненням резервного живлення від сусідньої трансформаторної підстанції. Проте, у зв'язку з тим, що переважне число електроспоживачів є споживачами 2 категорії, цей варіант недоцільний.

Таким чином, враховуючи вищезгадане, виберемо двоохтрансформаторну ГПП.

У системах електропостачання промислових підприємств потужність силових трансформаторів повинна забезпечити в нормальних умовах живлення усіх електроприймачів.

При виборі потужності трансформаторів слід домагатися як економічно доцільного режиму роботи, так і відповідного забезпечення явного або неявного резервування живлення приймачів при відключенні одного з трансформаторів, причому навантаження трансформатора в нормальних умовах не повинне (по нагріву) викликати скорочення природного терміну його служби. Потужність трансформаторів повинна забезпечувати потрібну потужність в режимі роботи після відключення пошкодженого трансформатора залежно від вимог, що висуваються споживачами цієї категорії.

Знаючи розрахункову величину навантаження заводу, $S_{нав.} = 10176,678$ кВА і враховуючи умови перевантаження, $S_p = 0,7 \cdot S_{max.см.}$, визначаємо номінальну потужність трансформатора

$$S_{ном.тр.} \geq S_{нав.} / 2 \cdot 0,7 = 10176,678 / 1,4 = 7269 \text{ кВА.}$$

Вибираємо трансформатор ТДН потужністю 10 000 кВА. [13]

Перевіряємо виконання умови по перевантаженню:

$$1,4 S_{mp} \geq S_p;$$

$$14000 \geq 7269.$$

Умова виконується.

За каталожними даними [13] вибираємо два трансформатори ТДН-10000/110-70У1.

Вибрані трансформатори працюватимуть з недовантаженням по потужності.

ТДН – трифазний двообвитковий трансформатор з масляним охолодженням та дуттям, з РПН, номінальною потужністю 10000 кВА, класу 10 кВ, конструкції 1970 року, кліматичне виконання У1.

2.4 Вибір схеми електропостачання підприємства

2.4.1 Загальні стани

Схеми електропостачання промислових підприємств діляться на схеми зовнішнього і внутрішнього електропостачання. Схеми електропостачання вибираються з міркувань надійності, економічності і безпеки. Надійність визначається залежно від категорії споживачів. Якщо в числі приймачів або споживачів підприємства є хоч би один, що належить до першої категорії, то кількість джерел живлення має бути не менше двох.

Залежно від встановленої потужності приймачів електроенергії розрізняють об'єкти великої (75-100 МВт і більше), середньої (від 5-7 до 75 МВт) і малої (до 5 МВт) потужності. Для підприємств малої і середньої потужності, як правило, застосовують схеми електропостачання з одним приймальним пунктом електроенергії (ГПП, ГРП, РП). Якщо є споживачі першої категорії, то передбачають секціонування шин приймального пункту і живлення кожної секції по окремій лінії.

Найбільш дешевими є схеми з віддільниками і короткозамикачами.

Число секцій залежить від числа підключень і прийнятої схеми внутрішньозаводського розподілу електроенергії. У більшості випадків число

секцій не перевищує двох. Кожна секція працює окремо і отримує живлення від окремої лінії або трансформатора. У нормальному режимі роботи секційний апарат (роз'єднувач або вимикач) відключений.

Застосування секційного вимикача забезпечує автоматичне включення резерву (АВР), що дозволяє використати таку схему для споживачів будь-якої категорії по надійності.

Внутрішнє і зовнішнє електропостачання споживачів електроенергії здійснюють за допомогою радіальних, магістральних і змішаних схем живлення.

Радіальними називають такі схеми, в яких електроенергію від джерела живлення (електростанції підприємства, енергосистеми і так далі) передають безпосередньо до ПС, без відгалужень на шляху для живлення інших споживачів.

Радіальні схеми мають велику кількість відключаючого обладнання і живлячих ліній. Ці схеми застосовують тільки для живлення досить потужних споживачів.

Магістральними називають такі схеми, в яких електроенергію від джерела живлення передають до ПС не безпосередньо, а з відгалуженнями на шляху для живлення інших споживачів. Як правило магістральні схеми забезпечують приєднання п'яти-шести ПС із загальною потужністю споживачів електроенергії не менше 5000-6000 кВА. Схеми характеризуються зниженою надійністю, мають меншу кількість відключаючих апаратів, дають можливість раціональніше скомпонувати споживачів.

У практиці проектування і експлуатації систем промислового електропостачання рідко зустрічаються схеми, побудовані тільки по радіальним або тільки за магістральним принципом.

2.4.2 Вибір конструктивного виконання і схеми з'єднання ГПП

Схему ГПП вибираємо з урахуванням встановленої потужності споживачів електроенергії і категорії їх надійності, характеру електричних

навантажень і розміщення їх на генеральному плані підприємства, а також виробничих, архітектурно-будівельних і експлуатаційних вимог.

Приймаємо схему ГПП без збірних шин на вищій напрузі як найбільш просту і економічну.

Для РП 10 кВ приймаємо схему з однією секціонованою системою шин з двома секціями. Кожна секція працює окремо і отримує живлення від окремого трансформатора. У нормальному режимі секційний вимикач відключений.

Трансформатори розміщуємо відкрито, решту обладнання розміщуємо в закритому приміщенні.

Для облаштування РП 10 кВ використовуємо комплексні розподільні пристрої КРУ2 -10 -20У3

2.4.3 Розрахунок і вибір перерізу кабелів, що живлять головний розподільний пункт (ГРП)

Розрахунковий струм кожної секції визначається за формулою:

$$I_p = \frac{\sum S}{\sqrt{3} \cdot U_n},$$

$\sum S$ – сумарна потужність підстанцій що входять в секцію,

U_n – номінальна напруга мережі.

Розрахунковий струм першої секції:

$$I_{p.c1} = \frac{5099,03}{\sqrt{3} \cdot 10} = 294,4 \text{ А.}$$

Розрахунковий струм другої секції :

$$I_{p.c2} = \frac{5077,63}{\sqrt{3} \cdot 10} = 293,2 \text{ А.}$$

Для першої секції вибираємо трижильний алюмінієвий кабель марки АПвВнг-LS(В) на 10 кВ прокладений в траншеї і перерізом кожної жили 150 мм² з допустимим струмом $I_d = 416 \text{ А}$ [17].

Для другої секції вибираємо трижильний алюмінієвий кабель марки АПВВнг-LS(B) на 10 кВ прокладений в траншеї і перерізом кожної жили 150 мм^2 з допустимим струмом $I_d = 416 \text{ А}$ [17].

2.5 Вибір схеми розподільної мережі підприємства

2.5.1 Вибір раціональної напруги розподільної мережі

Вибір напруги розподільної мережі тісно пов'язаний з вирішенням питань електропостачання підприємства. Остаточне рішення приймають в результаті техніко-економічного порівняння варіантів, що враховують різне поєднання напруги окремих ланок системи.

Широкому поширенню напруги 110 кВ для невеликих і середніх по потужності підприємств сприяє випуск силових трансформаторів з номінальною потужністю 2500 кВА. Більш висока номінальна напруга і відсутність проміжних трансформацій значно скорочують втрати електроенергії в системі електропостачання.

Напругу 35 кВ застосовують для живлення підприємств середньої потужності і для розподілу електроенергії на першому ступені електропостачання таких підприємств за допомогою глибоких введень.

Перевага напруги 20 кВ в порівнянні з напругою 35 кВ полягає в простішому пристрої і дешевших комутаційно-захисних апаратах.

Незважаючи на наявні переваги, застосування напруги 20 кВ стримується відсутністю електрообладнання на цю напругу.

Напруга 10 кВ і 6 кВ широко використовують на промислових підприємствах: на середніх по потужності підприємствах для живлячих і розподільних мереж; на великих підприємствах – на другій і подальших ступенях розподілу електроенергії.

Напруга 10 кВ є економічнішою в порівнянні з напругою 6 кВ. Напруга 6 кВ допускається застосовувати тільки в тих випадках, якщо на підприємстві переважають приймачі електроенергії з номінальною напругою 6 кВ або коли

значна частина навантаження підприємства живиться від заводської ТЕЦ, де встановлені генератори напругою 6 кВ.

2.5.2 Компенсація реактивної потужності у мережах напругою 10 кВ

Система промислового електропостачання є єдиним цілим, і від правильного вибору засобів компенсації, розміщення джерел реактивної потужності в мережі, розрахунку їх потужності залежить ефективність використання енергетичних ресурсів і електрообладнання.

Збільшення споживання реактивної потужності електроустановкою викликає ріст струму в провідниках будь-якої ланки системи електропостачання і зниження величини коефіцієнта потужності електроустановки.

З метою зменшення споживаної реактивної потужності в мережах промислового призначення встановлюють компенсуючі пристрої.

Потужність компенсуючого пристрою $Q_{кп}$ визначається як різниця між фактичною реактивною потужністю навантаження підприємства Q_m і граничною реактивною потужністю Q_e , що надається підприємству енергосистемою за умовами режиму її роботи.

$$Q_{кп} = Q_m - Q_e = \alpha \cdot P_p \cdot [(tg\varphi_{св.} - tg\varphi_e)],$$

де α – коефіцієнт, рівний 0,9, враховує підвищення коефіцієнта потужності способами, що не вимагають встановлення компенсуючих пристроїв,

$tg\varphi_{св.}$ – середньозважений тангенс кута зміщення фаз, що відповідає коефіцієнту потужності по підприємству до компенсації;

$tg\varphi_e$ – коефіцієнт реактивної потужності енергосистеми задається і рівний $tg\varphi_e = 0,4$.

Тоді:

$$Q_{кп} = 0,9 \cdot P_p \cdot [(tg\varphi_{св.} - tg\varphi_e)] = 0,9 \cdot 8000 \cdot [(0,909 - 0,4)] = 3664,8 \text{ кВАр.}$$

З розрахунків видно, що потужності з енергосистеми недостатньо для компенсації реактивної потужності навантажень, тобто необхідно встановити компенсуючий пристрій.

В якості компенсуючого пристрою вибираємо по [2] синхронний компенсатор КС - 16-11.

КС – компенсатор синхронний;

$$S_{ном}=16 \text{ МВАр} \qquad U_{ном}=10,5 \text{ кВ.}$$

S_{max} в режимі недозбудження 9 МВАр.

Визначаємо фактичне значення $\text{tg}\varphi_\phi$ і $\cos\varphi_\phi$ після компенсації реактивної потужності, по формулі:

$$\text{tg}\varphi_\phi = \tan\varphi - \frac{Q_{кв}}{\alpha \cdot P_p} = 0,909 - \frac{3664,8}{0,9 \cdot 8000} = 0,32;$$

$$\cos\varphi_\phi = 0,95 \text{ після компенсації;}$$

$$\cos\varphi_\phi = 0,86 \text{ до компенсації.}$$

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Вибір схеми електропостачання ТП і трасування КЛ

Знайдемо розрахункові струми в мережі високої напруги заводу 10 кВ.

Мережа високої напруги виконана за петлевою схемою і має вигляд представлений на рис. 3.1.

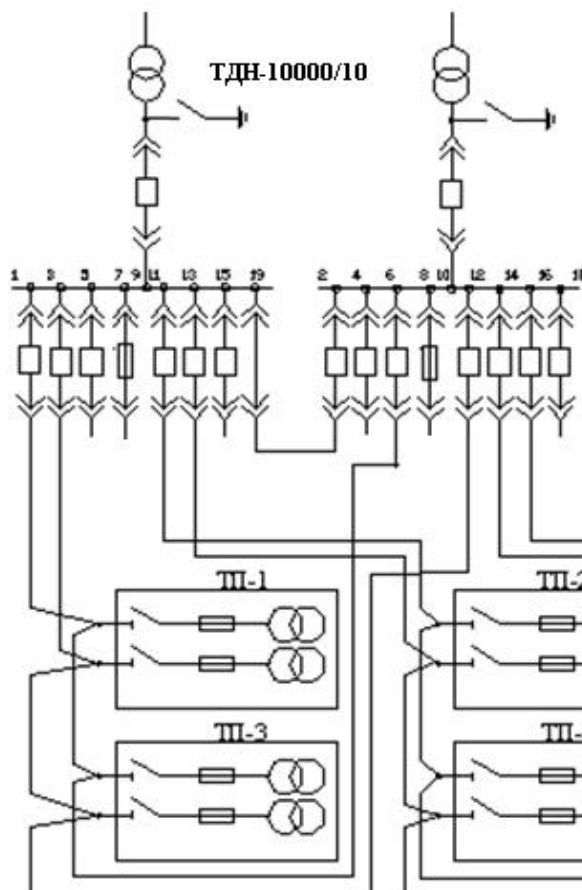


Рисунок 3.1 – Мережа високої напруги за петлевою схемою

З рисунка видно, що схему можна розбити на дві незалежні петлі, які є одноконтурними кільцевими колами.

У перше коло входять ТП-1; ТП-3. В другу ТП-2; ТП-4.

Розрахунковий струм кожного кола (петлі) визначається за формулою:

$$I_p = \frac{\sum S}{\sqrt{3} \cdot U_n},$$

ΣS – сумарна потужність підстанцій що входять в петлю,

$U_{ном}$ – номінальна напруга мережі.

Розрахунковий струм першої петлі:

$$I_p = \frac{6449,65}{\sqrt{3} \cdot 10} = 372,4 \text{ А.}$$

Розрахунковий струм другої петлі

$$I_p = \frac{3727}{\sqrt{3} \cdot 10} = 215,2 \text{ А.}$$

Для першої петлі вибираємо трижильний алюмінієвий кабель марки ААШв на 10 кВ прокладений в траншеї і перерізом кожної жили 120 мм² з допустимим струмом $I_d = 380 \text{ А}$.

Для другої петлі вибираємо трижильний алюмінієвий кабель марки ААШв на 10 кВ прокладений в траншеї і перерізом кожної жили 50 мм² з допустимим струмом $I_d = 250 \text{ А}$.

Перевіряємо вибраний кабель по тепловому нагріву:

$$I_p \leq K_{с.н.} \cdot K_{II} \cdot I_d,$$

де $K_{с.н.}$ – поправочний коефіцієнт за умовами прокладення провідників (пісок вологістю більше 4 і менше 7%, піщано-глинистий ґрунт вологістю 8-12%);

K_{II} – поправочний коефіцієнт по кількості проводів.

$$372,4 \leq 0,87 \cdot 1,07 \cdot 400; \quad 372,4 \leq 372,4$$

$$215,2 \leq 0,87 \cdot 1,07 \cdot 255; \quad 215,2 \leq 237,3$$

З розрахунків видно, що вибрані кабелі задовольняють умовам перевірки по нагріву.

3.2 Розрахунок струмів короткого замикання в установках напругою вище 1 кВ

Залежно від потужності джерела живлення підприємства при розрахунках струму К.З. виділяють два характерні випадки: К.З в колах, що живляться від

системи нескінченної потужності і К.З. поблизу генератора обмеженої потужності. Системою нескінченної потужності умовно вважають джерело, напруга, на шинах якого залишається практично незмінним при будь-яких змінах струму в підключеному до нього колі. Відмінною особливістю такого джерела є малий власний опір в порівнянні з опором кола К.З.

Для систем електропостачання промислових підприємств типовим випадком є живлення від джерела необмеженої потужності.

Для розрахунку струмів К.З. складаємо розрахункову схему рис. 3.2(а) електропостачань і на її основі схему заміщення рис.3.2(б).

Приймаємо за базисну потужність номінальну потужність трансформатора ГПП, $S_{\sigma} = S_{ном.т} = 10000$ кВА. За базисну напругу приймаємо величину, рівну середній напрузі ступеня з точками КЗ, тобто $U_{\sigma} = U_{ср} = 10,5$ кВ.

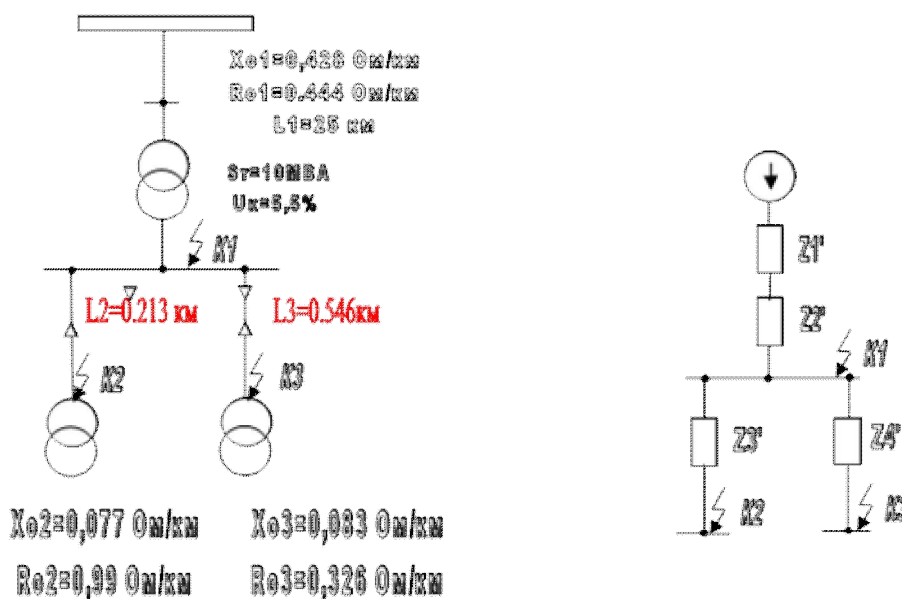


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема (а) та схема заміщення (б) для розрахунку струмів КЗ

Визначаємо базисний струм по формулі:

$$I_{\sigma} = \frac{\sum S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma_n}};$$

$$I_{\sigma} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,55 \text{ кА.}$$

Знаходимо опір Z_1 лінії 110 кВ схеми заміщення.

$$r_1' = \frac{r_{01} \cdot L_1 \cdot S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2};$$

$$r_1' = \frac{0,444 \cdot 25 \cdot 10}{110^2} = 0,00917 \text{ Ом/км;}$$

$$x_1' = \frac{x_{01} \cdot L_1 \cdot S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2};$$

$$x_1' = \frac{0,428 \cdot 25 \cdot 10}{110^2} = 0,00884 \text{ Ом/км,}$$

де r_{01}, x_{01} – питомі активний і реактивний опір кабелю Ом/км;

L_1 – довжина повітряної лінії, км.

$$\sum Z_1' = \sqrt{r_1'^2 + x_1'^2};$$

$$\sum Z_1' = \sqrt{0,00917^2 + 0,00884^2} = 0,01274 \text{ Ом/км.}$$

Знаходимо опір Z_2 трансформатора ТДН 10000/110-70У1 [13]:

$$Z_2' = \frac{U_k \%}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_n};$$

$$Z_2' = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{10}{10} = 0,055 \text{ Ом.}$$

Знаходимо опір Z_3 кабельної лінії першої петлі:

$$r_3' = \frac{r_{02} \cdot L_2 \cdot S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2};$$

$$r_3' = \frac{0,99 \cdot 0,213 \cdot 10}{110^2} = 0,00396 \text{ Ом/км;}$$

$$x_3' = \frac{x_{02} \cdot L_2 \cdot S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2};$$

$$x_3' = \frac{0,077 \cdot 0,213 \cdot 10}{110^2} = 0,001 \text{ Ом/км;}$$

$$\sum Z_3' = \sqrt{r_3'^2 + x_3'^2};$$

$$\sum Z_3' = \sqrt{0,00396^2 + 0,001^2} = 0,0041 \text{ Ом/км.}$$

Знаходимо опір Z_4 кабельної лінії другої петлі:

$$r_4' = \frac{r_{03} \cdot L_3 \cdot S_6}{U_6^2};$$

$$r_4' = \frac{0,326 \cdot 0,546 \cdot 10}{110^2} = 0,00015 \text{ Ом/км};$$

$$x_4' = \frac{x_{03} \cdot L_3 \cdot S_6}{U_6^2};$$

$$x_4' = \frac{0,083 \cdot 0,546 \cdot 10}{110^2} = 0,00004 \text{ Ом/км};$$

$$\sum Z_4' = \sqrt{r_4'^2 + x_4'^2};$$

$$\sum Z_4' = \sqrt{0,00015^2 + 0,00004^2} = 0,00016 \text{ Ом/км.}$$

Визначаємо струми КЗ в точці К1 на збірних шинах РП-10 кВ:

$$I_{K1} = \frac{I_B}{Z_1 + Z_2};$$

$$I_{K1} = \frac{0,55}{0,01274 + 0,055} = 8,12 \text{ кА.}$$

Знаходимо ударний струм короткого замикання.

$$i_{y\delta} = k_{y\delta} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1};$$

$$i_{y\delta} = 1,85 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,12 = 21,244 \text{ кА,}$$

де $k_{y\delta}$ – ударний коефіцієнт (вибирається за табличними даними або залежно від відношення x/r по графіку).

Визначаємо струми КЗ в точці К2:

$$I_{K2} = \frac{I_B}{Z_1 + Z_2 + Z_3};$$

$$I_{K2} = \frac{0,55}{0,01274 + 0,055 + 0,0041} = 7,66 \text{ кА.}$$

Знаходимо ударний струм короткого замикання:

$$i_{y\partial} = k_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1};$$

$$i_{y\partial} = 1,85 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,12 = 21,24 \text{ кА.}$$

Визначаємо струми К3. в точці К3:

$$I_{K3} = \frac{I_B}{Z_1 + Z_2 + Z_4};$$

$$I_{K3} = \frac{0,55}{0,01274 + 0,055 + 0,00016} = 8,1 \text{ кА.}$$

Знаходимо ударний струм короткого замикання:

$$i_{y\partial} = k_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K2};$$

$$i_{y\partial} = 1,85 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,1 = 21,19 \text{ кА.}$$

3.3 Розрахунок струмів КЗ в установках до 1 кВ

Мережі промислових підприємств напругою до 1 кВ характеризуються великою протяжністю і наявністю великої кількості комутаційно-захисного обладнання. При напрузі до 1 кВ навіть невеликий опір робить істотний вплив на струм КЗ. Тому в розрахунках враховують усі опори короткозамкнутого кола, як індуктивні, так і активні. Крім того, враховують активні опори усіх перехідних контактів в цьому колі (на шинах, на введеннях і виводах апаратів, роз'ємні контакти апаратів і контакт в місці КЗ). За відсутності достовірних даних про контакти і їх перехідні опори, рекомендується при розрахунку струмів КЗ в мережах, що живляться трансформаторами потужності до 1600 кВА, враховувати їх опори таким чином:

0,015 Ом – для розподільних пристроїв на станціях і підстанціях;

0,02 Ом – для первинних цехових РП, а також на затискачах апаратів, що живляться радіальними лініями від щитів підстанцій і головних магістралей;

0,025 Ом – для вторинних цехових РП, а також на затискачах апаратів, що живляться від первинних РП;

0,03 Ом – для обладнання, встановленого безпосередньо у приймачів електроенергії, які одержують живлення від вторинних РП.

Для установок напругою до 1 кВ при розрахунках струмів КЗ вважають, що потужність живлячої системи не обмежена і напруга на стороні вищої напруги цехового трансформатора є незмінною. Ця умова виконується, якщо потужність системи приблизно в 50 разів перевершує потужність цехового трансформатора. Розрахунок струмів К.З. на напругу до 1 кВ виконують в іменованих одиницях.

Для перевірки апаратів і провідників за умовами К.З. роблять розрахунок трифазного КЗ, оскільки при цьому виді КЗ струм досягає найбільшого значення. Для налаштування захисту від замикань на землю проводять також розрахунок струмів при однофазному КЗ, щоб виявити можливу найменшу величину струму при цьому виді замикання.

Для розрахунку струмів КЗ беремо принципову електричну схему малярно-обробного цеху напругою 0,4 кВ. Розрахункову та схему заміщення представлено на рис. 3.3. Струми КЗ визначаємо в характерних точках:

- К-1 – на введенні ЩУ камерної печі 15 кВт;
- К-2 – на розподільному щиті РП-3.

Визначаємо опір живлячого трансформатора 1600 кВА:

$$r_{m1} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_H^2 \cdot 10^3}{S_H^2};$$

$$r_{m1} = \frac{16,5 \cdot 0,38^2 \cdot 10^3}{1600^2} = 930,7 \text{ мОм};$$

$$X_{m1} = \frac{U_{к\%} \cdot U_H^2 \cdot 10^3}{S_H^2};$$

$$X_{m1} = \frac{5,5 \cdot 0,38^2 \cdot 10^3}{1600^2} = 310,2 \text{ мОм}.$$

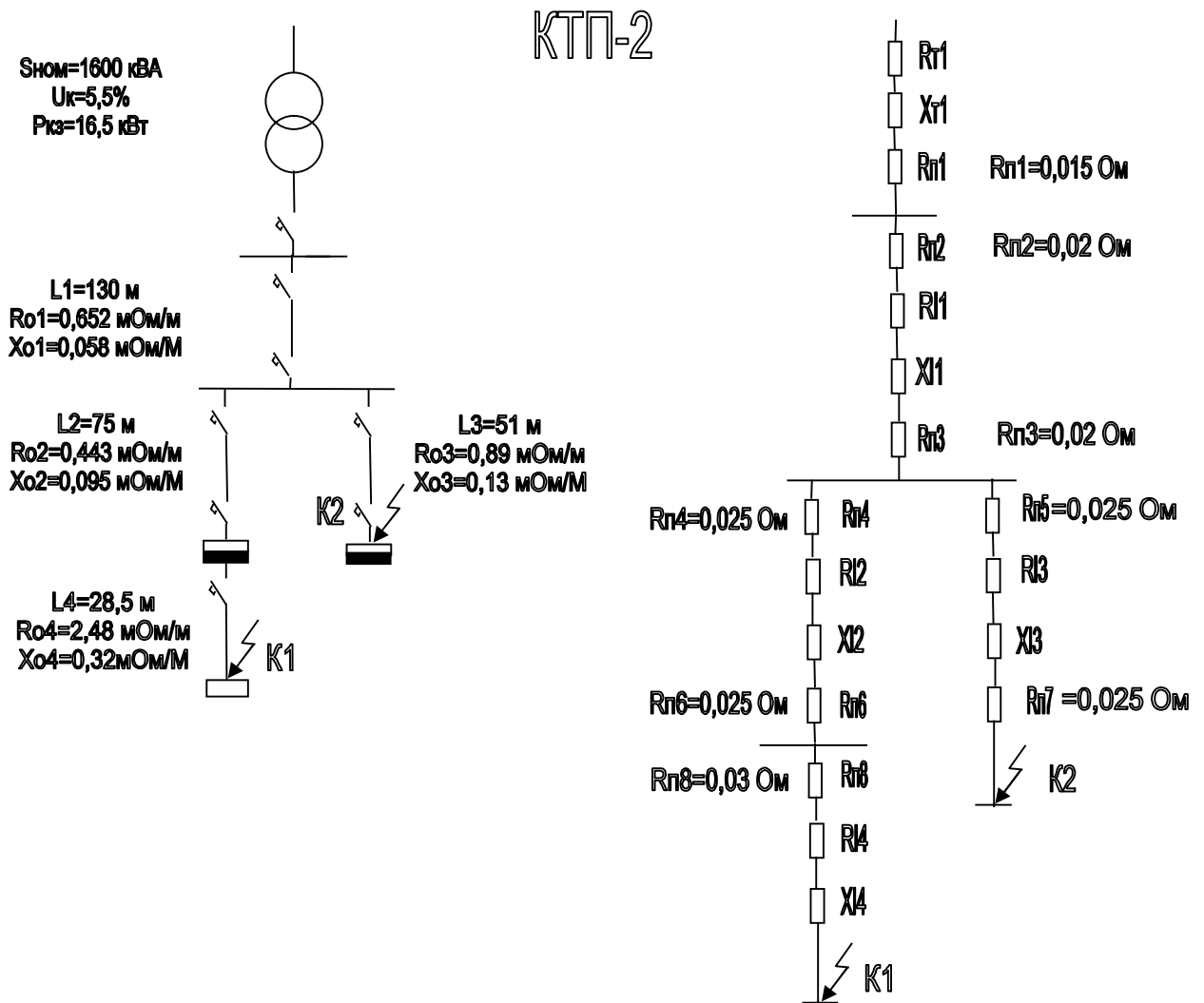


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема та схема заміщення для розрахунку струмів КЗ

Визначаємо опір лінії L1 від КТП-2 РП-0,4 кВ до ВРП:

$$r_{l1} = l_1 \cdot r_{o1};$$

$$r_{l1} = 130 \cdot 0,652 = 0,08476 \text{ Ом} = 84,76 \text{ мОм};$$

$$X_{l1} = l_1 \cdot X_{o1};$$

$$X_{l1} = 130 \cdot 0,058 = 0,00754 \text{ Ом} = 7,54 \text{ мОм}.$$

Визначаємо опір лінії L2 від ВРП до РП-1 і L4 до ЩУ:

$$r_{l2} = l_2 \cdot r_{o2};$$

$$r_{l2} = 75 \cdot 0,443 = 33,23 \text{ мОм};$$

$$X_{l2} = l_2 \cdot X_{o2};$$

$$X_{l2} = 75 \cdot 0,095 = 7,125 \text{ мОм};$$

$$r_{l3} = l_3 \cdot r_{03};$$

$$r_{l3} = 51 \cdot 0,89 = 45,39 \text{ МОм};$$

$$X_{l3} = l_3 \cdot X_{03};$$

$$X_{l3} = 51 \cdot 0,13 = 6,63 \text{ МОм};$$

$$r_{l4} = l_4 \cdot r_{04};$$

$$r_{l4} = 28,5 \cdot 2,48 = 70,68 \text{ МОм};$$

$$X_{l4} = l_4 \cdot X_{04};$$

$$X_{l4} = 28,5 \cdot 0,32 = 9,12 \text{ МОм}.$$

Розраховуємо струм короткого замикання для точки К1:

$$\sum r_{K1} = r_{m1} + r_{n1} + r_{n2} + r_{l1} + r_{n3} + r_{n4} + r_{l2} + r_{n6} + r_{n8} + r_{l4};$$

$$\sum r_{K1} = 2,943 + 15 + 20 + 84,76 + 20 + 25 + 33,23 + 25 + 30 + 70,68 = 326,613 \text{ МОм};$$

$$\sum X_{K1} = X_{m1} + X_{l1} + X_{l2} + X_{l4};$$

$$\sum X_{K1} = 13,968 + 7,54 + 7,125 + 9,12 = 37,753 \text{ МОм}.$$

Струм короткого замикання в точці К1:

$$I_{K1} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\sum r_{K1}^2 + \sum X_{K1}^2}};$$

$$I_{K1} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,327^2 + 0,0378^2}} = 666,5 \text{ А}.$$

Знаходимо ударний струм короткого замикання.

$$i_{y\delta} = k_{y\delta} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1};$$

$$i_{y\delta} = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 666,5 = 942,57 \text{ А},$$

де $k_{y\delta}$ – ударний коефіцієнт (вибирається за табличними даними або залежно від відношення x/r по графіку).

Розраховуємо струм короткого замикання для точки К2:

$$\sum r_{K2} = r_{m1} + r_{n1} + r_{n2} + r_{l1} + r_{n3} + r_{n5} + r_{l3} + r_{n7};$$

$$\sum r_{K2} = 2,943 + 15 + 20 + 84,76 + 20 + 25 + 45,39 + 25 = 238,09 \text{ МОм};$$

$$\sum X_{K2} = X_{m1} + X_{l1} + X_{l3};$$

$$\sum X_{K2} = 13,968 + 7,54 + 9,12 = 30,628 \text{ МОм}.$$

Визначаємо струми К3 в точці К2:

$$I_{K2} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\sum r_{K2}^2 + \sum X_{K2}^2}};$$

$$I_{K2} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,2381^2 + 0,031^2}} = 913,72 \text{ А.}$$

Знаходимо ударний струм короткого замикання.

$$i_{y\partial} = k_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K2};$$

$$i_{y\partial} = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 913,72 = 1292,2 \text{ А.}$$

4 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Вибір обладнання на підстанції напругою 110/10 кВ

Вибір електричних апаратів складається з вибору апаратів за умовами тривалої роботи в нормальному режимі і перевірки апаратів за умовами короткочасної роботи в аварійному режимі, тобто в режимі короткого замикання. Усі апарати, включені в електричні кола послідовно, повинні надійно працювати не лише в нормальному режимі, але і мати необхідну стійкість при короткому замиканні.

Електричні апарати і струмоведучі пристрої повинні відповідати наступним вимогам:

- можливість тривалої роботи в нормальному режимі, при короткочасній нарузі і перевантаженнях, а також допустимого нагріву струмами в режимі перевантаження;
- стійкості в режимі КЗ;
- техніко-економічній доцільності;
- поєднанню навколишнього середовища і роду установки;
- механічній міцності.

В цілому умови вибору вимикачів високої напруги можна записати так:

$$\begin{aligned}
 U_{уст.ном.} &\leq U_{ном}; \\
 I_{max} &\leq I_{ном}; \\
 I_{kt} = I'' &\leq I_{відкл.ном.}; \\
 I_{уд} &\leq i_{макс.доп.} = i_{дин}; \\
 I_{\infty}^2 \cdot t_{\phi} &\leq I_t^2.
 \end{aligned}$$

Умови вибору роз'єднувачів :

$$\begin{aligned}
 U_{уст.ном.} &\leq U_{ном}; \\
 I_{max} &\leq I_{ном}; \\
 I_{уд} &\leq i_{макс.доп.} = i_{дин}; \\
 I_{\infty}^2 \cdot t_{\phi} &\leq I_t^2.
 \end{aligned}$$

Умови вибору трансформаторів напруги :

$$U_{уст.ном} \leq U_{ном.}$$

Умови вибору трансформаторів струму (вимірювальних) :

$$U_{уст.ном} \leq U_{ном};$$

$$I_{max} \leq I_{ном};$$

$$I_{уд} \leq i_{дин};$$

$$I'' \cdot \sqrt{t_{тер}} \leq I_{тер} \cdot \sqrt{t_{тер}}.$$

4.1.1 Вибір роз'єднувача

Вибір роз'єднувача обмежується визначенням робочих параметрів номінальної напруги $U_{ном}$ і тривало допустимого струму $I_{трив.}$, а також перевіряють їх на термічну і динамічну стійкість. Вибираємо роз'єднувача типу РЛНД-10/630 з приводом типу ПРН-10М [14]. Вибір апаратів вище 1 кВ приведений в таб. 4.1.

Таблиця 4.1 – Паспортні дані вибраних апаратів підстанції 110/10 кВ

Найменування обладнання	Тип	Параметри		
		$U_H=110\text{кВ}$	$I_H=800\text{А}$	
Віддільник	ОД-110/800 Т1	$U_H=110\text{кВ}$	$I_H=800\text{А}$	
Короткозамикач	КЗ-110Б-У1	$U_H=110\text{кВ}$	$I_{пр.кз}=32\text{кА}$	$I_{терм}=12,5\text{кА}$
Обмежувач перенапруги нелінійний	ОПНп-110/550/(56-88)-10-III-УХЛ1-О(П)	$U_H=110\text{кВ}$	$U_{доп.}=56 \div 88$ кВ	$I_{пропуск.}=550$ А
Обмежувач перенапруги нелінійний	ОПНп-10/550/(10,5-12,7)- 10 - III -УХЛ1	$U_H=10\text{кВ}$	$U_{доп.}=10,5 \div 12,7$ кВ	$I_{пропуск.}=550$ А
Вакуумний вимикач	ВВ-10-31,5	$U_H=10\text{кВ}$	$I_H=1000\text{А}$	$I_{відкл}=31,5\text{кА}$
Трансформатор струму	ТПШЛ-10	$U_H=10\text{кВ}$	$I_{H.n}=2000\text{А}$	$I_{H.y}=5\text{А}$
Трансформатор напруги	НОЛ-08-10У2	$U_{вн}=10\text{кВ}$	$U_{нн}=100\text{В}$	
Роз'єднувач	РЛНД-10/630	$U_H=10\text{кВ}$	$I_H=630\text{А}$	
Вимикач навантаження	ВВБМ-110Б-31,5	$U_H=110\text{кВ}$	$I_H=2000\text{А}$	$I_{max.відкл.}=31,5\text{кА}$
Запобіжник	ПКТ 103-10-30У3	$U_H=10\text{кВ}$	$I_H=30\text{А}$	
	ПКТ 103-10-40У3	$U_H=10\text{кВ}$	$I_H=40\text{А}$	

РЛНД-10/630 – Р – роз'єднувач, Л – лінійний, Н – зовнішнього встановлення, Д – з двома опорними колонками або з двопрореневою ізоляційною гірляндою (для підвісних); номінальна напруга 10 кВ, номінальний струм 630 А.

ПРН-10М – привід роз'єднувача зовнішнього встановлення десятої модифікації модернізований.

НОЛ-08-10У2 – Н – трансформатор напруги; О – однофазний; Л – ізоляція лита епоксидна; перша цифра 08 означає сферу застосування – для ЗРП і КРП внутрішнього і зовнішнього встановлення; друга цифра – кліматичне виконання і категорія розміщення по ГОСТ 15150 - 69 і 15543 – 70.

ТПШЛ-10 – Т – трансформатор струму, П – прохідний, Ш – шинний, Л – з литою ізоляцією, номінальна напруга 10 кВ.

ВВБМ-110Б-31,5 – В – вимикач (друге В – повітря), Б – баковий, М – малогабаритний. Номінальна напруга 110 кВ (буква Б – категорія ізоляції по довжині шляху виток). Струм відключення 31,5 кА. Робочий тиск – 2,0 МПа.

ПКТ 103-10-30У1, ПКТ 103-10-40У1 – ПК – запобіжник кварцевий, Т – для захисту силових трансформаторів і ліній; 1 – наявність ударного пристрою легкого типу; 03 – конструкція контактів; номінальна напруга 10 кВ; номінальний струм запобіжника 30 А і 40 А відповідно; У3 – кліматичне виконання (для встановлення в приміщенні).

ВВ-10-1000-31,5 – вимикач вакуумний. Номінальна напруга 10 кВ, номінальний струм 1000 А, струм відключення 31,5 кА.

КЗ-110Б-У1 – КЗ – короткозамикач, номінальна напруга 110 кВ, категорія Б по ГОСТ 9920 - 75 (У – посилена ізоляція).

ОД-110/800 Т1 – ОД – віддільник, номінальна напруга 110 кВ, номінальний струм 800 А. Віддільник ОД-110/800 випускається у виконанні Т категорії 1 по ГОСТ 15150 - 69 і 15543-70

4.2 Розрахунок і вибір електричної мережі цеху механічної обробки

4.2.1 Вибір схеми цехової електричної мережі

Цехові схеми розподілу електричної мережі повинні:

- забезпечувати необхідну надійність електропостачання приймачів електроенергії залежно від їх категорії;
- бути зручними і безпечними в експлуатації;
- мати оптимальні техніко-економічні показники (мінімум приведених витрат);
- мати конструктивне виконання, що забезпечує застосування промислових і швидкісних методів монтажу.

Схеми цехових мереж ділять на магістральні і радіальні. Лінію цехової електричної мережі, що відходить від розподільного пристрою нижчої напруги цехової ТП і призначену для живлення окремих найбільш потужних приймачів електроенергії і розподільної мережі цеху, називають головною магістральною лінією (чи головною магістраллю).

Головні магістралі розраховують на великі робочі струми (до 6300 А), вони мають невелику кількість приєднань. Магістральні схеми забезпечують високу надійність електропостачання, мають універсальність і гнучкість (дозволяють замінювати технологічне обладнання без особливих змін електричної мережі). Тому їх застосування рекомендується в усіх випадках, якщо цьому не перешкоджають територіальне розташування навантажень, умови середовища і техніко-економічні показники. Недоліком магістральних схем є нижча надійність в порівнянні з радіальними схемами, оскільки унеможливується резервування на нижчій напрузі однострансформаторних підстанцій при живленні їх по одній магістралі.

Радіальними схемами є такі, в яких електроенергія від джерела живлення передається безпосередньо до приймального пункту і є сукупністю ліній цехової електричної мережі, що відходять від РП нижчої напруги ТП і призначені для живлення невеликих груп приймачів електроенергії,

розташованих в різних місцях цеху. Радіальні схеми забезпечують високу надійність електропостачання. Проте вони вимагають великих витрат на електрообладнання і монтаж.

На підставі наведених вище міркувань в якості схеми внутрішньоцехового електропостачання цеху механічної обробки приймаємо магістральну схему. Оскільки цей цех має на своїй території різноманітне обладнання, таке як верстати, кран-балка, апарат точкового зварювання, розміщені в різних частинах цеху, та використання такої схеми електропостачання є найбільш доцільним. Крім того, магістральна схема забезпечує високу надійність електропостачання відповідальних споживачів.

4.2.2 Визначення розрахункових навантажень цеху

Для визначення розрахункових навантажень використовуємо метод впорядкованих діаграм.

Знаходимо коефіцієнти використання обладнання цеху :

- верстати металообробні – $K_{\epsilon} = 0,17$;
- апарат точкового зварювання $K_{\epsilon} = 0,35$;
- кран-балка $K_{\epsilon} = 0,3$;
- автомати металообробні $K_{\epsilon} = 0,17$.

Серед обладнання цеху знаходяться споживачі з повторно-короткочасним режимом роботи. До них відносяться кран-балка.

Номінальна потужність таких споживачів визначається по формулі:

$$P_n = P_{уст} \cdot \sqrt{ПВ},$$

де $P_{уст}$ – паспортна потужність споживача;

$\sqrt{ПВ}$ – паспортна тривалість включення.

Кран-балка складається з трьох електродвигунів:

- підйому $P_{уст,кр} = 15,8$ кВт, $ПВ = 0,4$ – найбільш важкий режим;
- візки $P_{уст,кр} = 8$ кВт, $ПВ = 0,25$;
- моста $P_{уст,кр} = 12$ кВт, $ПВ = 0,25$.

Визначаємо номінальні потужності двигунів кран-балки.

$$P_{н,кр} = 15,8 \cdot \sqrt{0,4} = 10 \text{ кВт};$$

$$P_{н,кр} = 8 \cdot \sqrt{0,25} = 4 \text{ кВт};$$

$$P_{н,кр} = 12 \cdot \sqrt{0,25} = 6 \text{ кВт}.$$

Сумарна номінальна потужність крану з урахуванням ПВ $P_{н,кр} = 20$ кВт.

Найменування і параметри обладнання цеху приведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Найменування і параметри обладнання цеху механічної обробки

№ по плану	Найменування обладнання	К-ть	P , кВт	$\cos \varphi$	S_n , кВА	$S_{n,сум}$, кВА
1	2	3	4	5	6	7
1	Токарно-гвинторізний верстат	3	11	0,65	16,92	50,77
2	Токарно-гвинторізний верстат	3	12,22	0,65	18,80	56,40
3	Горизонтально-розточувальною верстат	1	8,7	0,65	13,38	13,38
4	Горизонтально-фрезерний верстат	2	4,74	0,65	7,29	14,58
5	Токарно-револьверний автомат	2	7,12	0,6	11,87	23,73
6	Відрізний круглопилочний автомат	2	10,6	0,6	17,67	35,33
7	Верстат для завальцовки	1	4,62	0,65	7,11	7,11
8	Апарат точкового зварювання	1	30	0,35	85,71	85,71
9	Безцентрово-шліфувальний напівавтомат	1	13	0,6	21,67	21,67
10	Зубострогальний верстат	1	7,35	0,65	11,31	11,31
11	Зубофрезерний верстат	1	11,8	0,65	18,15	18,15
12	Довбальний верстат	1	10	0,65	15,38	15,38
13	Токарно-револьверний автомат	1	7	0,6	11,67	11,67
14	Кругло-шліфувальний напівавтомат	1	18,5	0,6	30,83	30,83
15	Продольно-строгальний верстат	1	54,41	0,65	83,71	83,71
16	Кран-балка	1	20	0,5	40,00	40,00
Разом		23	231,06			

4.2.3 Визначення розрахункових струмів

Знаходимо розрахунковий струм кабельних ліній безпосередньо живлячих споживачів по формулі:

$$I_p = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$$

де S_n – номінальна напруга мережі 0,38 кВ.

Знаходимо струм для повздовжньо-стругального верстату потужністю $P_n=55$ кВт:

$$I_p = \frac{83,71}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 127,22 \text{ А.}$$

Подальші типові розрахунки струмів цехового обладнання зводимо в табл.4.4.

4.2.4 Вибір типу кабелів і їх перерізів

Перерізи проводів і жил кабелю цехової мережі вибирають по нагріву тривалим розрахунковим струмом:

$$I_p \leq I_{дон},$$

де I_p – розрахунковий струм лінії;

$I_{дон}$ – тривало допустимий струм провідника.

Для проводів передбачаємо приховане прокладення в ізоляційних трубах в підлозі.

Перевірка заснована на дотриманні наступної умови

$$\Delta U \leq \Delta U_{дон},$$

де $\Delta U_{дон}$ – допустима втрата напруги, 5%.

Втрату напруги ΔU кабельної лінії визначаємо по формулі:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_p \cdot L}{U_n} \cdot (R_0 \cdot \cos \varphi + X_0 \cdot \sin \varphi),$$

де I_p – розрахунковий струм кабельної лінії, А;

L – довжина лінії, м;

U_n – номінальна напруга мережі 380 В;

$R_0; X_0$ – питомі активний і реактивний опір лінії;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності кабельної лінії.

Таблиця 4.4 – Розрахункові струми та вибір живлячих ліній для споживачів цеху механічної обробки

№ за планом	Найменування обладнання	S_n , кВА	I_p , А	L , м	Тип і переріз кабелю	I_0 , А	ΔU , кВ
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Токарно-гвинторізний верстат	16,92	25,71	20	АПВВГ 4×10	67	0,152
2	Токарно-гвинторізний верстат	18,80	28,57	8	АПВВГ 4×10	67	0,14
3	Горизонтально-розточувальною верстат	13,38	20,33	10	АПВВГ 4×10	67	0,073
4	Горизонтально-фрезерний верстат	7,29	11,08	17	АПВВГ 4×10	67	0,06
5	Токарно-револьверний автомат	11,87	18,04	15	АПВВГ 4×10	67	0,113
6	Відрізний круглопилочний автомат	17,67	26,85	12	АПВВГ 4×10	67	0,019
7	Верстат для завальцовки	7,11	10,81	10	АПВВГ 4×10	67	0,004
8	Апарат точкового зварювання	85,71	130,26	15	АПВВГ 4×35	137	0,04
9	Безцентрово-шліфувальний напівавтомат	21,67	32,93	16	АПВВГ 4×10	67	0,01
10	Зубострогальний верстат	11,31	17,19	18	АПВВГ 4×10	67	0,1
11	Зубофрезерний верстат	18,15	27,58	16	АПВВГ 4×10	67	0,05
12	Довбальний верстат	15,38	23,37	12	АПВВГ 4×10	67	0,14
13	Токарно-револьверний автомат	11,67	17,74	10	АПВВГ 4×10	67	0,02
14	Кругло-шліфувальний напівавтомат	30,83	46,85	13	АПВВГ 4×10	67	0,05
15	Продольно-строгальний верстат	83,71	127,22	10	АПВВГ 4×25	113	0,08
16	Кран-балка	40,00	60,79	20	АПВВГ 4×10	67	0,046

У табл. 4.5 зробимо розрахунок струмів для розподільних щитів і виберемо живлячі кабелі.

Таблиця 4.5 – Розрахункові струми та вибір живлячих ліній для розподільчих щитів

Найменування устаткування	S_n , кВА	I_p , А	L , м	Тип і переріз кабелю	I_0 , А	ΔU кВ
РП-1	140,11	146,02	18	АПВВГ 4×50	166	0,12
РП-2	116,68	166,24	85	АПВВГ 4×70	201	0,64
РП-3	165,94	200,74	69	АПВВГ 4×70	201	0,63
РП-4	97	102,55	50	АПВВГ 4×50	166	0,23

Цехове освітлення живиться від РП-2, РП-4.

4.2.5 Вибір комутаційно-захисних апаратів в системі електропостачання напругою до 1 кВ

У мережах напругою до 1 кВ основними комутаційно-захисними апаратами є плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі, магнітні пускачі.

Автоматичні вимикачі забезпечують спеціальним пристроєм релейного захисту, який залежно від типу вимикача виконують у вигляді струмової відсічки, максимального струмового захисту або двоступінчатого струмового захисту. Для цього використовують електромагнітні і теплові реле. Ці реле називають розчеплювачами.

На промислових підприємствах використовують автоматичні вимикачі серії АВМ, «Електрон», А3700, АЕ2000, АП-50.

При проектуванні цехового обладнання прийнято рішення використати автоматичні вимикачі серії А3700.

Автоматичні вимикачі вибирають за наступними умовами:

$$U_{н.а} \geq U_{н.у};$$

$$I_a \geq I_{н.у};$$

$$I_{н.р} \geq k_{н.т} \cdot I_{р.мах};$$

$$I_{н.е} \geq k_{н.е} \cdot I_{к.мах};$$

$$I_{гр.відкл} \geq I_{к.мах},$$

де $I_a, I_{н.у}$ – номінальні струми автомата і електроустановки;

$I_{н.р}$ – номінальний струм теплового розчеплювача автомата;

$k_{н.т}$ – коефіцієнт надійності, розкид по струму спрацьовування теплового розчеплювача приймається в межах від 1,1 до 1,3 ;

$I_{н.е}$ – струм відсічки електромагнітного розчеплювача і пускового струму електродвигуна;

$I_{гр.відкл.}$ – граничний струм відключення;

$I_{к.мах}$ – максимальний струм короткого замикання.

Наприклад, для лінії, що живить РП-1, $I_{р.мах} = 102$ А приймаємо автомат А3700 з $I_{н.} = 150$ А і $I_{н.роз.тепл.} = 125$ А, $I_{н.роз.е.м.} = 400$ А [15].

Аналогічно вибираємо автоматичні вимикачі для іншого обладнання. Марку вибраних автоматів заносимо в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Вибір автоматичних вимикачів

Найменування	Тип автомата	I_n, A	$I_{роз}, A$
ВРП, ввідний	А3790Б	400	400
ВРП, секційний	А3790Б	400	250
РП-1	А3710Б	160	125
РП-2	А3710Б	160	63
РП-3	А3710Б	160	80
РП-4	А3710Б	160	63

4.2.6 Вибір розподільних шаф і пунктів

Для прийому і розподілу електричної енергії до груп споживачів трифазного змінного струму промислової частоти напругою 380 В застосовують силові розподільні шафи і пункти.

Силові пункти і шафи вибирають з урахуванням умов навколишнього середовища робочої зони, числа приймачів електроенергії до силового пункту і їх розрахункового навантаження (розрахунковий струм групи приймачів, що підключаються до силового пункту, має бути не більше номінального струму пункту), що підключаються.

При проектуванні схеми цехового електропостачання з нормальними умовами довкілля вибираємо розподільчу шафу серії ШРС1-20УЗ. Шафи мають

на введенні рубильник, а на виводах – запобіжники типу ПН2 . Основні технічні характеристики приведені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Основні технічні характеристики розподільчої шафи

Тип	Рівень захисту	Номинальний струм шафи	Число ліній, що відходять, номінальні струми запобіжників, А
ЩРС1-20УЗ	IP22	250	5×60

4.2.7 Вибір режиму нейтралі в цеху з урахуванням технологічних особливостей споживачів електроенергії

В Україні прийнята наступна класифікація режимів нейтралі :

- системи з ізольованою нейтраллю;
- системи з глухозаземленою нейтраллю.

Вибір того або іншого режиму нейтралі електроустановок є результатом врахування багатьох техніко-економічних чинників конкретної системи електропостачання. При виборі способу заземлення нейтралі повинні враховуватися наступні вимоги:

- надійність роботи мереж;
- безперебійність електропостачання приймачів електроенергії;
- економічність системи;
- можливість усунення небезпечних перенапружень;
- обмеження електромагнітного впливу на лінії зв'язку;
- безвідмовність системи;
- можливість подальшого розвитку системи без значної реконструкції.

У електроустановках напругою до 1 кВ застосовуються наступні режими нейтралі :

- глухе заземлення нейтралі трансформаторів і генераторів;
- повністю ізольована нейтраль (тільки у генераторів);
- нормально ізольована нейтраль трансформатора з включеним в нейтраль або фазу заземленим пробивним запобіжником.

Відповідно до ПУЕ в чотирипровідних мережах змінного струму 380/220 В або трипровідних мережах постійного струму глухе заземлення обов'язкове.

4.3 Розрахунок електроосвітлення цеху

Штучне робоче освітлення промислових приміщень створює потрібну по нормах освітленість, забезпечуючи тим самим необхідні умови роботи при нормальному режимі експлуатації будівлі. Система загального освітлення призначена для створення однакової освітленості по усій площі приміщення. Світильники розміщують у верхній зоні приміщення, як правило, на одній висоті над підлогою, з однаковою відстанню між світильниками.

Відповідно до норм СНиП і ПУЕ для механічної ділянки передбачається одне загальне освітлення, що забезпечує освітленість порядку 200 лк. Для врахування зниження освітленості в процесі експлуатації вводиться коефіцієнт запасу K_3 , що підвищує розрахункову освітленість в порівнянні з нормованою. Для механічної ділянки приймаємо $K_3=1,3$.

Скористаємося методом питомої потужності.

У довідковій літературі приведені таблиці зі значеннями питомої потужності (Вт/м²) при $K_3=1,3$ залежно від величини необхідної освітленості, типу світильника, коефіцієнтів відбивання стелі і стін, площі освітлюваного приміщення ($S=20 \text{--} 300 \text{ м}^2$) і висоти підвісу світильника.

У цьому приміщенні застосуємо систему комбінованого освітлення.

Знаходимо, що питома потужність запроектованої освітлювальної установки відповідає освітленості 200 лк буде рівна $p_0=30 \text{ Вт/м}^2$, а повна потужність запроектованої освітлювальної установки

$$P_{\text{уст}} = p_0 S;$$

$$P_{\text{уст}} = 30 \cdot 300 = 9000 \text{ Вт.}$$

Застосуємо лампи типу ДРЛ потужністю 400 Вт (коефіцієнт потужності з компенсацією 0,9). Застосування ламп високого тиску в порівнянні з лампами

розжарювання є значно економічнішим через високу світлову віддачу і терміну служби.

Необхідна кількість ламп:

$$N = P_{уст} / 400;$$

$$N = 9000 / 400 = 23 \text{ шт.}$$

Уточнюємо значення $P_{уст}$:

$$P_{уст} = 23 \cdot 400 = 9200 \text{ Вт.}$$

Встановлена потужність завжди буває більшою розрахункової потужності, оскільки залежно від характеру виробництва і призначення приміщень частина ламп з різних причин зазвичай не включена. Тому для отримання розрахункової потужності вводять поправочний коефіцієнт до величини встановленої потужності. Цей поправочний коефіцієнт називають коефіцієнтом попиту (K_n).

Для виробничих будівель, що складаються з окремих великих прольотів, $K_n = 0,95$.

В установках з газорозрядними лампами розрахункова потужність включає втрати потужності в пускорегулюючій апаратурі (ПРА), тому розрахункова потужність визначиться з наступного виразу:

$$P_{p.o.} = P_{уст} \cdot K_n \cdot K_{ПРА},$$

де $P_{уст}$ – встановлена потужність ламп, Вт;

K_n – коефіцієнт попиту;

$K_{ПРА}$ – коефіцієнт, що враховує втрати потужності в ПРА.

$$P_{p.o.} = 9200 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 9614 \text{ Вт};$$

$$Q_{p.o.} = P_{p.o.} \cdot \text{tg}\varphi;$$

$$Q_{p.o.} = 9614 \cdot 0,484 = 4653,2 \text{ ВАр};$$

$$S_{p.o.} = \sqrt{P_{p.o.}^2 + Q_{p.o.}^2};$$

$$S_{p.o.} = \sqrt{9614^2 + 4653,2^2} = 10681 \text{ ВА.}$$

Сумарна розрахункова потужність освітлювального обладнання даного цеху:

$$P_{p.o} = 9,6 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.o} = 4,6 \text{ кВАр};$$

$$S_{p.o} = 10,7 \text{ кВА}.$$

Лінії, що живлять ГЩО, виконуємо проводами марки АПВ (мідні жили, полівінілхлоридна ізоляція) перерізом 10 мм^2 з $I_{дон}=76 \text{ А}$, прокладеними в трубі. Для захисту цієї лінії встановлюємо триполюсний автомат А3710Б з $I_{ном}=160 \text{ А}$, $I_{ном.роз.тепл.} = 63 \text{ А}$. В якості групових щитків освітлення застосовуємо щитки типу ЯОУ-8501 з вимикачем ПВЗ-60 на введенні і 6 однополюсними автоматами АЕ1031 на групах. Безпосереднє живлення ЛН здійснюємо двожильними проводами АПВ перерізом $3 \times 3 \text{ мм}$. Світильники кріпимо на сталевих тросах.

4.4 Релейний захист і автоматика

4.4.1 Релейний захист силових трансформаторів типу ТДН-10000/110

Релейний захист є найважливішою частиною автоматики, що використовується на підстанціях і в електричних мережах енергосистеми. Основне завдання релейного захисту полягає у виявленні пошкодженої ділянки і можливо швидкої видачі керуючого сигналу на його відключення.

Найбільш частими видами пошкоджень електрообладнання станції, а також ліній електропередачі є КЗ, при яких пошкоджена ділянка відключається вимикачем. Додатковим призначенням релейного захисту є виявлення аномальних режимів роботи, заходів, що не вимагають прийняття, для їх ліквідації (перевантаження, обрив оперативних кіл). В цьому випадку захист діє на сигнал.

4.4.2 Розрахунок диференціального струмового захисту

Розглянемо розрахунок диференціального струмового захисту двообвиткового знижувального трансформатора 10 МВА [1].

Двообвитковий трансформатор типу ТДН-10000/110-70У1:

$S_{ном} = 10 \text{ МВА}; U_{к.з.} = 10,5\%; I_{xx} = 0,9\%; P_{xx} = 18 \text{ кВт}; P_{кз} = 60 \text{ кВт}.$

Трансформатор має вбудоване регулювання напруги під навантаженням в нейтралі вищої напруги в межах $(115 \pm 9 \times 1,78\%) / 110 \text{ кВ}.$

Напруга короткого замикання $U_{к \text{ в-н}} = 10,5\%$ для положення РПН, що відповідають мінімальному і максимальному значенню напруги зі сторони вищої напруги віднесеної до своєї напруги і потужності обмоток низької напруги рівної $0,5 U_{ном.тр}.$

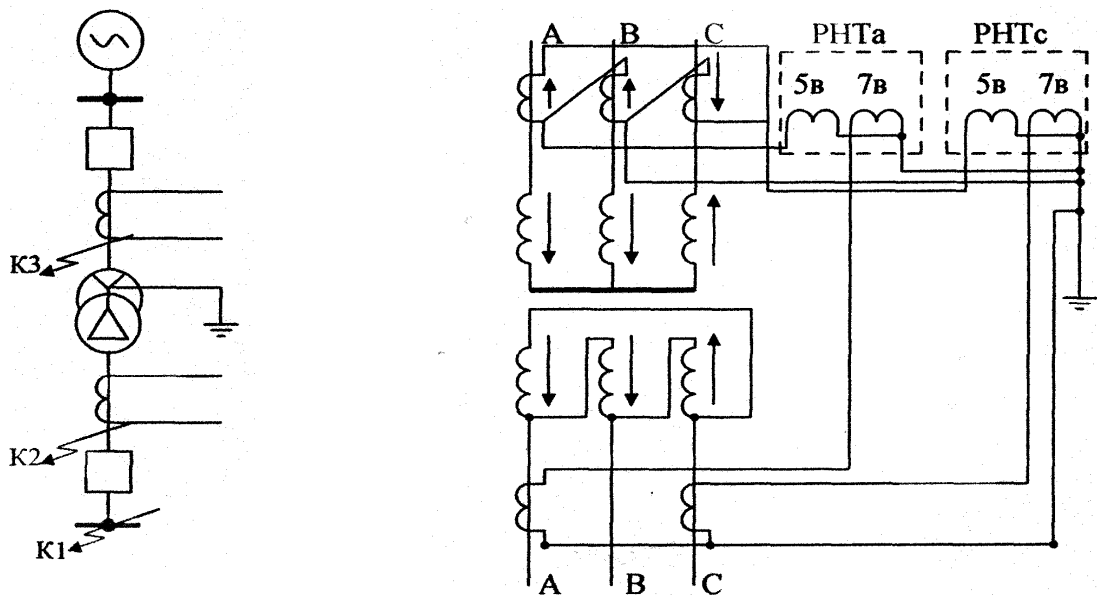


Рисунок 4.1 – Схема диференціального захисту трансформатора

Розрахунок режиму робиться в наступному порядку:

Обчислюємо опір трансформаторів

$$X_{тр-ра} = \frac{U_k \% \cdot U_H^2}{100\% \cdot S_H};$$

$$X_{тр-ра} = \frac{10.5 \cdot 110^2}{100 \cdot 10} = 139 \text{ Ом}.$$

Визначаються первинні струми на сторонах вищої і нижчої напруги трансформатора, що захищається, що відповідають його номінальній потужності, вибираються трансформатори струму для захисту і визначаються відповідні вторинні струми в плечах захисту.

Розрахунки по першому пункту зведені в табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Значення первинних та вторинні струмів трансформатора, що захищається

Найменування величини	Числове значення для сторони	
	110 кВ	10 кВ
Первинні струми, що відповідають номінальній потужності трансформатора	$\frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 52,5 \text{ А}$	$\frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 577 \text{ А}$
Коефіцієнт трансформації трансформаторів струму $n_{ТС}$	300/5	2500/5
З'єднання трансформаторів струму	Δ	Y
Вторинні струми в плечах захисту, що відповідають номінальній потужності трансформатора I_H	$\frac{52,5 \cdot \sqrt{3}}{300/5} = 1,516 \text{ А}$	$\frac{577}{2500/5} = 1,154 \text{ А}$

Визначаємо струм, що проходить через трансформатор, що захищається, при трифазному металевому короткому замиканні на шинах 110 кВ (у точці К1) в максимальному і мініальному режимі роботи системи:

$$I_{K3.\max} = \frac{U_H}{1,73 \cdot X_{mp-ra}};$$

$$I_{K3.\max} = \frac{110000}{1,73 \cdot 139} = 457,4 \text{ А};$$

$$I_{K3.\min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{U_H}{1,73 \cdot X_{mp-ra}};$$

$$I_{K3.\min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{110000}{1,73 \cdot 139} = 396 \text{ А}.$$

Визначається первинний струм небалансу $I_{нб.роз}$ без урахування складової $I''_{нб.роз}$ (обумовленої неточністю встановлення на трансформаторі реле розрахункового числа витків) при даному ушкодженні.

$$I_{нб.роз} = I'_{нб.роз} + I''_{нб.роз} = k_{анер} k_{однfi} I_{K3.\max} + \Delta U_a I_{K3.\max};$$

$$I_{нб.роз} = (1 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,1) \cdot 457,4 = 91,48 \text{ А}.$$

Заздалегідь визначається первинний струм спрацьовування захисту :

а) по умові налаштування від максимального струму небалансу:

$$I_{c.з} \geq k_n I_{нб.роз} ,$$

k_n – коефіцієнт надійності, що враховує помилку реле і необхідний запас.

Для реле РНТ приймається рівним 1,3.

$$I_{c.з} \geq 1,3 \cdot 91,48 = 119 \text{ А.}$$

б) по умові налаштування від кидка струму намагнічення :

$$I_{c.з} \geq k_n I_{ном},$$

$I_{ном}$ – номінальний струм, що відповідає номінальній потужності трансформатора;

k_n – коефіцієнт налаштування захисту від кидка струму намагнічення. Для реле типу РНТ приймається рівним 1,3.

$$I_{c.з} \geq 1,3 \cdot 52,5 = 68,25 \text{ А.}$$

Таким чином, розрахунковим для вибору струму спрацьовування є налаштування від струму небалансу при зовнішньому пошкодженні:

$$I_{c.з} = 119 \text{ А}$$

Виконуємо попередню перевірку чутливості.

У даному прикладі розрахунковим по чутливості є замикання між двома фазами на стороні 10 кВ в точці К2 в мінімальному режимі роботи системи 110 кВ.

Виходячи зі значень струмів в реле, приведеніх розрахунки попереднього значення струму спрацьовування захисту, робиться додаткова перевірка чутливості захисту з метою з'ясування в першому наближенні можливості виконання захисту з реле типу РНТ-565.

Струм спрацьовування реле, приведений до вторинних кіл трансформаторів струму живлячої сторони 110 кВ:

$$I_{c.p.} = I_{c.з} k_{cx} / n_{T110};$$

$$I_{c.p.} = 119 \cdot \sqrt{3} / (300/5) = 3,44 \text{ А.}$$

коефіцієнт чутливості захисту:

$$k_{ч} = I_{p \text{ мін. стор. при кз}} / I_{c.p.};$$

$$k_{\text{ч}} = (396 \cdot 1,73 / 60) / 3,44 = 3,3 > 2.$$

Таким чином, слід продовжити розрахунок захисту, виконаного на реле типу РНТ-565

Визначається число витків обмотки насичувального трансформатора реле для основної сторони 110 кВ (сторони з найбільшим вторинним струмом в плечі захисту, що визначається для обох сторін по номінальній потужності трансформатора, що захищається) і для не основної сторони 10 кВ виходячи з отриманого розрахунку значення струму спрацьовування захисту. Це число витків уточнюється після врахування складової струму небалансу $I'''_{\text{нб.роз}}$ неточністю встановлення на насичувальному трансформаторі реле розрахункових чисел витків.

Розрахунки зведені в табл. 4.9.

Таблиця 4.9 – Результати розрахунку диференціального струмового релейного захисту

Найменування величини	Позначення і метод визначення	Числове значення
1	2	3
Струм спрацьовування реле на основній стороні	$I_{\text{с.р.осн.}} = I_{\text{с.з.}} \cdot \sqrt{3} / n_{\text{T110}}$	$119 \cdot \sqrt{3} / (300/5) = 3,44 \text{ А}$
Розрахункове число витків обмотки насичувального трансформатора реле для основної сторони	$W_{\text{осн.роз}} = F_{\text{сп}} / I_{\text{с.р.осн}}$	$100 / 3,44 = 29 \text{ витків}$
Заздалегідь прийняте число витків для встановлення на основній стороні	$W_{\text{осн}}$	29 витків
Відповідний струм спрацювання реле на основній стороні	$I_{\text{с.р.осн}} = F_{\text{сп}} / W_{\text{осн}}$	$100 / 29 = 3,45 \text{ А}$
Розрахункове число витків обмотки насичувального трансформатора реле для не основної сторони 10 кВ	$W_{\text{не.осн.р.}} = W_{\text{осн}} \cdot I_{\text{осн.вм}} / I_{\text{не.осн.вм}}$	$29 \cdot 1,516 / 1,154 = 38,097 \text{ витків}$
Заздалегідь прийняте число витків для встановлення на не основній стороні	$W_{\text{неосн}}$	38 витків

Продовження таблиці 4.9

1	2	3
Складова первинного струму небалансу, обумовлена заокругленням розрахункового числа витків не основної сторони, для розрахункового випадку ушкодження на стороні 10 кВ	$I''_{нб.роз.} = \frac{W_{р.неосн.} - W_1}{W_{1роз.}} \cdot I_{КЗ\max}$	$\frac{38,097 - 38}{38,097} \cdot 457,4 = 1,165 \text{ А}$
Первинний розрахунковий струм небалансу з врахуванням складовій $I'''_{нб.роз}$	$I_{нб.роз} = I'_{нб.роз} + I''_{нб.роз} + I'''_{нб.роз}$	$91,48 + 1,165 = 92,645 \text{ А}$
Уточнене значення первинного струму спрацьовування захисту	$I_{с.з} \geq k_H I_{нб.роз}$	$1,3 \cdot 92,645 = 120,44 \text{ А}$
Розрахунок повторюємо для нового значення $I_{с.з.осн.}$		
Уточнений струм спрацювання реле на основній стороні	$I_{с.р.осн.} = I_{с.з} \sqrt{3} / n_{Т110}$	$\frac{120,44 \cdot \sqrt{3}}{300 / 5} = 3,48 \text{ А}$
Остаточно прийняті числа витків обмотки насичувального трансформатора реле для встановлення на основній 110 кВ і не основний 10 кВ сторонах	$W_{р.осн.} = F_{с.р.} / I_{с.р.осн.}$ $W_{не.осн.р.} = W_{р.осн.} \times (I_{осн.вт} / I_{не.осн.вт})$	$100 / 3,48 = 28,74$ <p>29 витків</p> $29 \cdot \frac{1,516}{1,154} = 38,1$ <p>38 витків</p>

Виконуємо перевірку правильності розрахунку

$$W_{не.осн.р.} \cdot I_{не.осн.вт} \approx W_{р.осн.} \cdot I_{осн.вт};$$

$$38 \cdot 1,154 \approx 29 \cdot 1,516;$$

$$43,852 \approx 43,964.$$

Схема включення реле для даного прикладу приведена на рис.4.2.

Розглядається розрахункове по чутливості замикання між двома фазами на стороні 10 кВ в точці К2 в мінімальному режимі роботи системи 110 кВ, для якого робилася попередня перевірка чутливості.

Виходячи зі значень струмів в реле, приведених на рис.4.2, і струму спрацьовування реле, що відповідає числу витків обмотки насичувального трансформатора реле на живлячій стороні.

При замиканні між двома фазами:

$$K_ч = I_{р\min.втор.при\кз} / I_{с.р};$$

$$K_u = (396 \cdot 1,73/60)/ 3,44 = 3,3 > 2.$$

Таким чином, розглянутий захист має достатню чутливість і може бути використаний для захисту двообвиткового трансформатора.

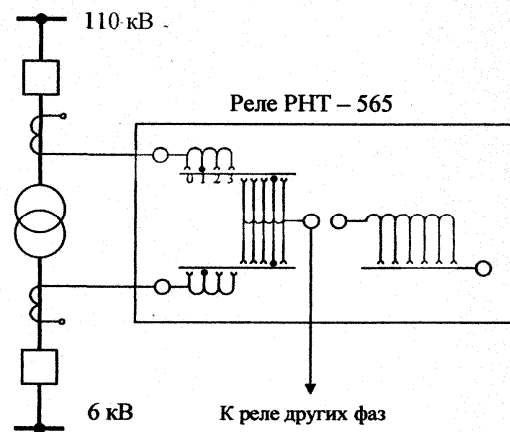


Рисунок 4.2 – Схема включення реле РНТ-565

У диференціальному захисті двообвиткових трансформаторів трансформатори струму захисту приєднуються до обох зрівняльних обмоткам насичувального трансформатора реле. Таке включення (в порівнянні з випадком приєднання трансформаторів струму однієї зі сторін безпосередньо до диференціальної обмотки) у ряді випадків дозволяє отримати на реле струм спрацьовування ближчий до розрахункового.

Вказане пояснюється тим, що в реле типу РНТ-565 диференціальна обмотка насичувального трансформатора має грубіше регулювання числа витків, чим зрівняльні обмотки.

4.4.3 Газовий захист ТДН-10000/110-70У1

Газовий захист трансформатора призначений для захисту трансформатора від усіх видів внутрішніх пошкоджень, що супроводжуються газовиділенням. Для цього використовуються поплавкові реле або чашкоподібні чи лопатеві реле. Нині найширше застосовуються поплавкові реле РЗТ-50 і ВР 80/Q. При слабкому газовиділенні, характерному для міжвиткових коротких замикань в обмотках трансформатора, спрацьовує сигнальний елемент газового реле КSG1

і видає сигнал «Газовий захист трансформатора» «Дія сигнального елемента».

При бурхливому газовиділенні, характерному для багатофазних коротких замикань в обмотках трансформатора, спрацьовує відключаючий елемент газового реле KSG1, що реагує на швидкість потоку масла в трубопроводі, що сполучає бак трансформатора з розширювачем. Факт спрацьовування відключаючого елемента фіксується вказівним реле КН2 типу РУ-21. При цьому з'являється сигнал «Газовий захист трансформатора» «Дія відключаючого елемента». Крім того, газове реле реагує на відтік масла з розширювача. Для цієї мети використовується нижній поплавковий газовий реле. При цьому вихідні дії захисту такі ж, як і при дії відключаючого елемента, розглянуті вище. Дія відключаючого елемента може бути переведена на сигнал за допомогою накладки SX2 типу НКР-3.

Від внутрішніх пошкоджень застосуємо газовий захист, що фіксує появу у баку пошкодженого трансформатора газу. Реле встановлюють в маслопроводі між баком і розширювачем. Номінальна напруга $U_{ном} = 110$ В; швидкість руху масла і газу $V = 0,6 - 1,2$ м/с, час спрацьовування $t_{сп} = 0,05 \div 0,5$.

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Аналіз результатів використання відомих засобів підвищення енергоефективності асинхронних двигунів

Компенсація несиметрії живлячої напруги виконується, як правило, симетруючими пристроями («груповими» методами). Розрахунок і обґрунтування параметрів останніх відноситься до завдань проектування систем електропостачання. Зміну частоти живлячої мережі компенсувати локально також важко. А ось спотворення синусоїдальної форми напруги, властиве цехам вітчизняних підприємств і яке визначається характером їх електричних навантажень, вимагає індивідуальних засобів захисту асинхронних двигунів.

У зв'язку з вищевідзначеним і розглянемо особливості експлуатації електроприводів у складі саме таких пристроїв підвищення якості електроенергії, тобто індивідуальних пасивних фільтрів. За результатами обчислювальних досліджень розробимо методику визначення типу і параметрів необхідних індивідуальних і групових фільтрів, що забезпечують необхідне підвищення енергетичних показників АД.

5.1.1 Активні фільтри і фільтро-компенсуючі пристрої

У першому розділі нами розглянуті переваги і недоліки активних фільтрів. Нижче проілюстровані особливості роботи вказаних пристроїв в умовах неякісної електроенергії.

Послідовно-паралельний активний фільтр дозволяє компенсувати до деякої міри несиметрію живлячої напруги і, більшою мірою, високочастотні спотворення. На рис. 5.1 показані осцилограми напруги в цеховій мережі до і після включення активних фільтрів.

У літературних джерелах відмічають, що досліджувані ними пристрої ефективні для пригнічення високочастотних перешкод (7-а, 11-а гармоніка і

вище) і компенсації деякої міри несиметрії. Це пов'язано з обмеженістю кількості енергії, що накопичується в ємності активного фільтру. Гармоніки низького порядку, як видно з рис. 5.1, як і раніше є присутніми в кривих фазної напруги. Крім того, активні фільтри є складними пристроями, вартість яких порівнянна з вартістю перетворювачів частоти.

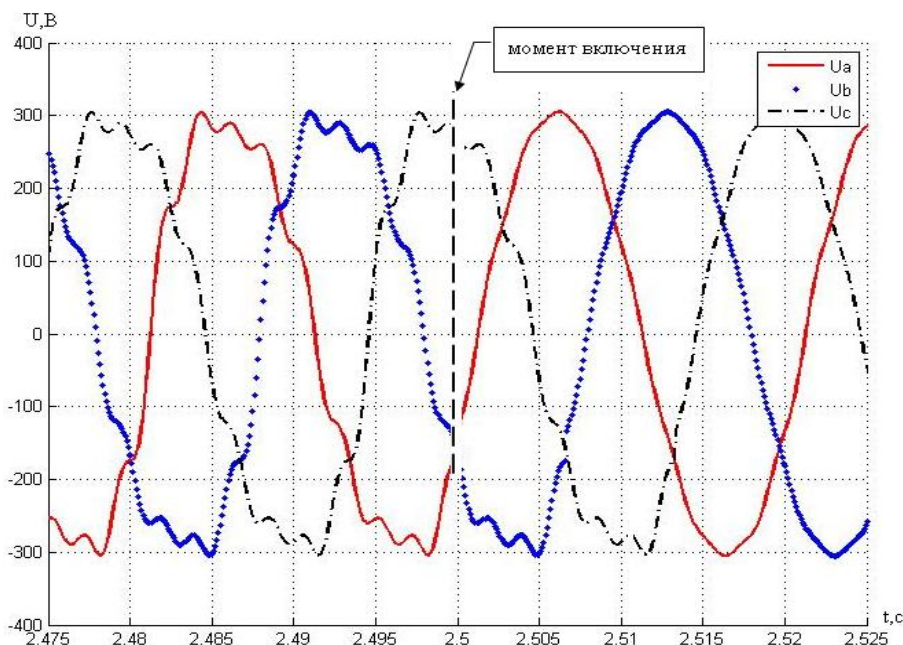


Рисунок 5.1 – Графіки мережевої напруги до і після включення активного фільтру

Фільтро-компенсуючі пристрої (ФКП) вибірково пригнічують гармоніки і в деякій мірі усувають несиметрію живлячої напруги, як це показано на рис. 5.2.

Пригнічення усього спектру паразитних гармонік за допомогою ФКП неможливе, оскільки для кожної з них потрібно окремих резонансних коло короткого замикання. Як правило, ФКП налаштовуються на гармоніки, що роблять найбільший негативний ефект.

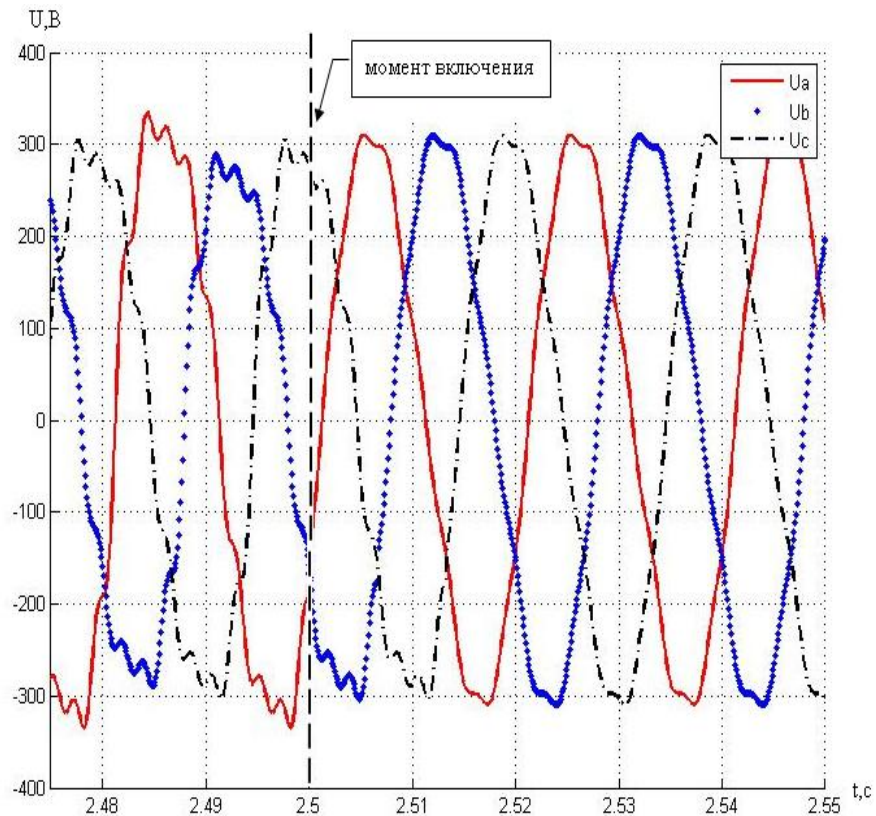


Рисунок 5.2 – Графіки мережевої напруги до і після включення фільтрокомпенсуючих пристроїв

5.1.2 Послідовні фільтри

Для фільтрації гармонік вищого порядку доцільне підвищення загальної індуктивності кола, тобто послідовне включення дроселів в коло живлення АД. При цьому слід враховувати, що з ростом індуктивного опору фільтрів, росте і величина падіння напруги на них, що негативно позначається на здатності навантаження самого двигуна. В той же час, при підключенні послідовних LC-кіл можливо добитися резонансу напруги, і таким чином, мінімального опору для струмів заданої частоти. Схема такого включення показана на рис. 5.3.

Проте, режим роботи асинхронного двигуна у складі приведеної схеми не завжди стійкий. Вхід в резонансний режим викликає зменшення результуючого опору фільтрів і, таким чином, знижує падіння напруги на них. Підвищення напруги на затискачах асинхронного двигуна призводить до росту струму статора і, відповідно, моменту, що призводить до зміни ковзання. В результаті змінюється результуючий комплексний опір кожної фази, і умови резонансу

порушуються. На рис. 5.4 приведена ілюстрація отриманого нестійкого режиму роботи асинхронного двигуна при використанні послідовного резонансного LC-фільтра, налаштованого на частоту 100 Гц.

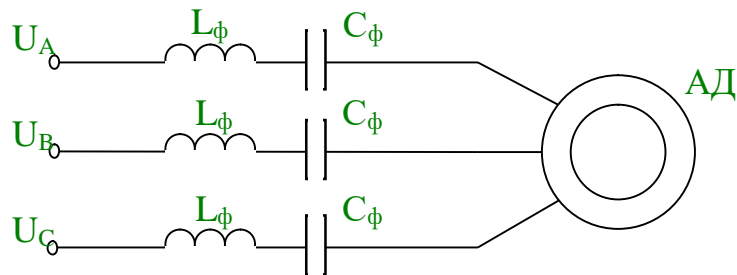


Рисунок 5.3 – Включення АД через послідовний резонансний LC-фільтр

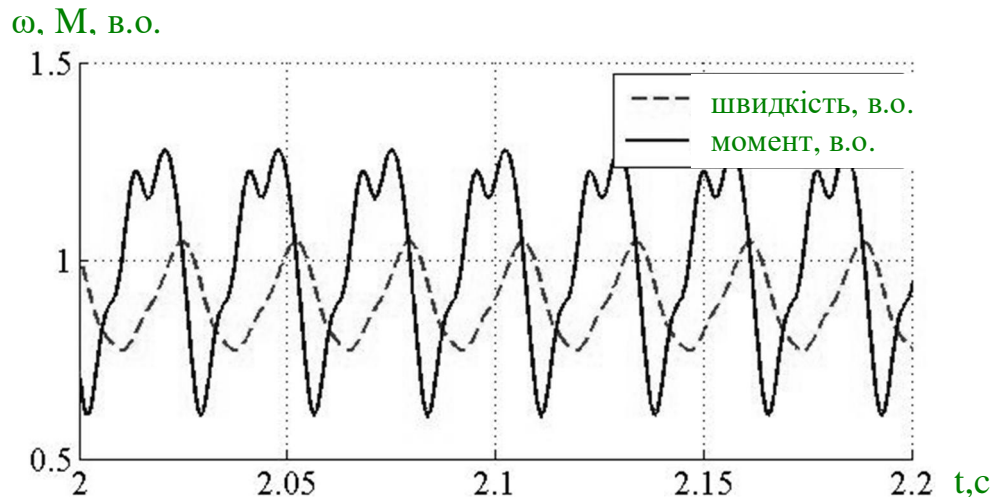


Рисунок 5.4 – Зміна моменту і швидкості асинхронного двигуна при використанні послідовного LC-фільтра

Крім того, цей режим небезпечний можливими перенапруженнями на статорі АД. Таким чином, застосування послідовних LC-фільтрів за схемою рис. 5.3 технічно недоцільно через нестійкість резонансного режиму.

5.1.3 Паралельні фільтри

Як показано вище, найгірший вплив на енергетичні показники АД робить друга гармоніка живлячої напруги, фільтрація якої є найбільш пріоритетним

завданням. Для вирішення останньої найбільш доцільне застосування паралельних LC-фільтрів (рис. 5.5), налаштованих на резонанс струмів на частоті 100 Гц. При цьому результуючий опір фільтрів для другої гармоніки прагне до нескінченності, розриваючи, таким чином, контур для неї. Тому такі фільтри частенько називають «пробками».

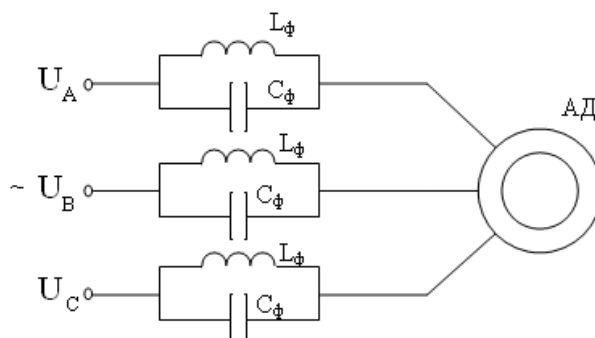


Рисунок 5.5 – Включення АД через паралельний резонансний LC-фільтр

При виборі параметрів фільтрів, на практиці необхідно враховувати одночасно декілька чинників, головними з яких є наступні:

- технічна, що реалізується необхідною величиною індуктивності та ємності;
- величина і характер опору, що вноситься фільтрами на основній частоті.

Ці параметри також пов'язані з вибором гармоніки, яку повинні подавити фільтри. Для забезпечення резонансу струмів індуктивність і ємність необхідно вибирати виходячи зі співвідношення:

$$\omega_r^2 LC = 1, \quad (5.1)$$

де $\omega_r = 2\pi f_r$ – резонансна кутова частота.

Будь-яке поєднання індуктивностей і ємностей, що задовольняє цьому рівнянню забезпечить необхідний резонанс. Проте слід, передусім, враховувати результуючий комплексний опір фільтрів для основної гармоніки, оскільки ефективність фільтрів-пробок при різних поєднаннях L і C буде різною. При цьому важливі і вартості компонентів – індуктивності і ємності, при яких забезпечуються резонансні явища.

Характер опору, що вноситься загороджувальним фільтром-пробкою при його налаштуванні на резонанс струмів на частоті 100 Гц, ілюструється рис. 5.6. Для струмів з частотами нижче резонансної, фільтр-пробка є індуктивним опором, для вищих же гармонік – ємнісним.

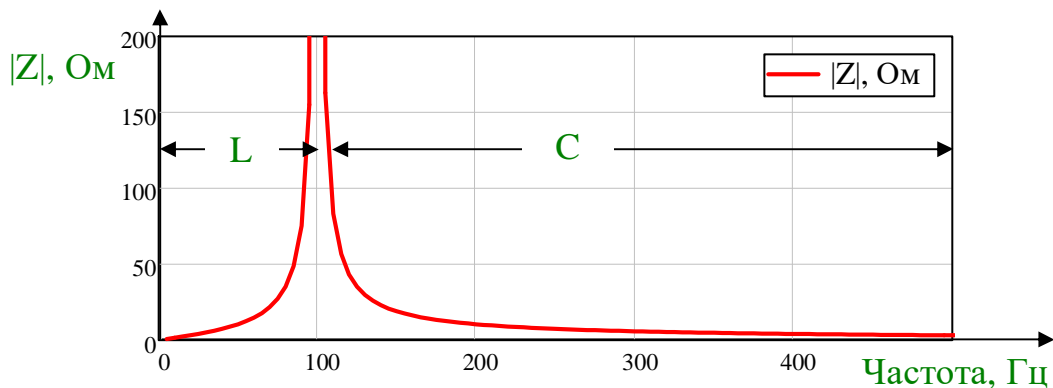


Рисунок 5.6 – Залежність величини і характеру результуючого опору фільтра-пробки від частоти

На рис. 5.7 показано, як міняється комплексний опір резонансного фільтру-пробки, налаштованого на частоту 100 Гц при зміні ємності в діапазоні 1 мкФ-10 мФ (значення ємностей, що технічно реалізовується). Графіки представлені в логарифмічному масштабі. Опір ідеального фільтру-пробки для другої гармоніки (100 Гц) дорівнює нескінченності і тому на рисунку не показано.

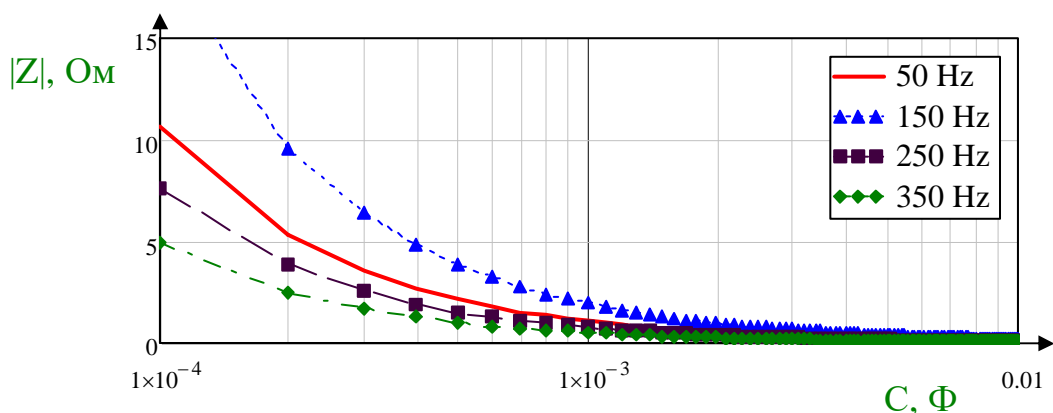


Рисунок 5.7 – Залежність результуючих опорів резонансного фільтру-пробки від величини ємності для різних вищих гармонік

Аналіз графіків на рис. 5.7 показує, що з ростом ємності опір фільтру-пробки для основної частоти швидко падає. Очевидно, застосування фільтрів з вхідним опором близько десятків Ом на основній частоті неприпустимо через значне падіння напруги на них. Тому нижньою межею ємності має бути значення близько 100 мкФ (10^{-4} Ф), що забезпечує величину вхідного опору на рівні одиниць Ом. Верхня межа ємності визначається ефективністю фільтру за інтегральним енергетичним і економічним критерієм. При зміні ємності в деякому малому діапазоні вибір вказаного значення для забезпечення резонансу струмів на другій гармоніці необхідно вибирати індуктивність в межах 25 - 0,5 мГн. Результуючий опір фільтрів при цьому складе 10 - 0,1 Ом.

Ефективність застосування фільтрів-пробок, параметри яких вибиралися вказаним вище способом, була перевірена шляхом моделювання. На рис. 5.8 показані графіки напруги до і після фільтру зі значеннями $L=25$ мГн і $C=100$ мкФ для випадку, коли в живлячій напрузі переважає друга гармоніка. Як видно, в даному випадку за рахунок пригнічення другої гармоніки, «вирівнюється» форма кривої фазної напруги. Спектр струму статора АД з фільтром і без нього показане на рис. 5.9.

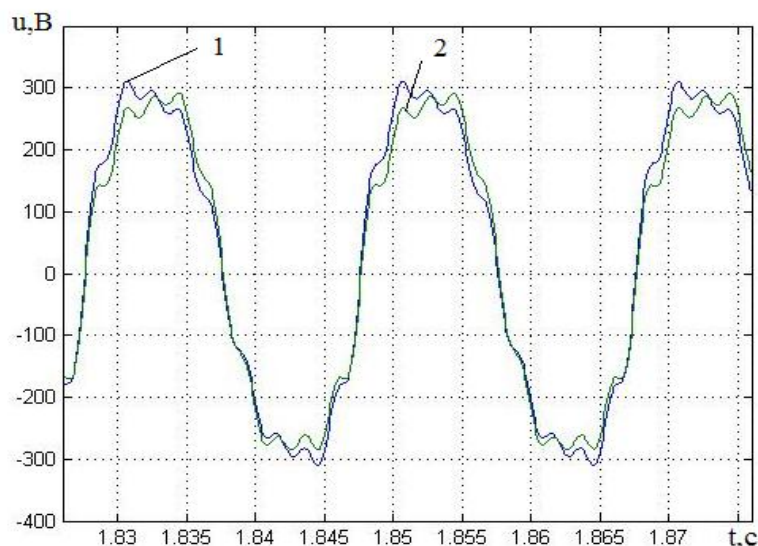


Рисунок 5.8 – Фазна живляча напруга АД потужністю 7,5 кВт до (1) і після (2) паралельного фільтру-пробки

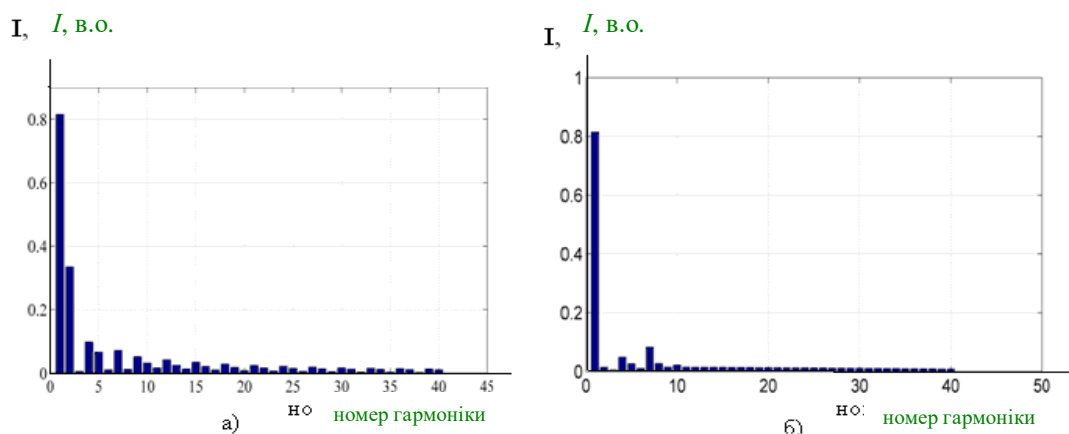


Рисунок 5.9 – Спектр струму статора при живленні АД без фільтру (а) і при використанні фільтру-пробки (б), налаштованого на резонанс 100 Гц

Отже, загороджувальні, або фільтри-пробки, можуть застосовуватися в якості самостійного засобу підвищення якості електроенергії при експлуатації асинхронних двигунів.

5.1.4. Комбіновані фільтри

Безумовно, ефективність фільтрів може бути підвищена за рахунок комбінування схем, які поєднують різні підходи по пригніченню гармонік живлячої напруги. Однією з них, що використовуються в наш час для фільтрації вихідної напруги перетворювачів частоти, є схема, показана на рис. 5.10.

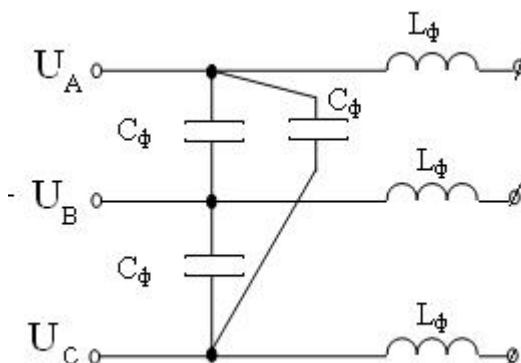


Рисунок 5.10 – LC -фільтр, що використовується на виході перетворювачів частоти

Ємності, що входять до складу таких фільтрів, є малим опором для фронтів імпульсів вихідних каскадів. В результаті знижуються рівні перенапружень в системі з довгим кабелем, зменшується інтенсивність електромагнітних завад, генерованих перетворювачем в ефір і так далі. В той же час індуктивності, включені послідовно з навантаженням, служать обмежуючим опором для струмів високої частоти. Недоліком такої схеми, на наш погляд, є те, що в ній не використовуються резонансні явища.

Розглянемо можливі схеми комбінованих резонансних фільтрів і зробимо оцінку їх ефективності. Для спрощення представлення схемних реалізацій нижче наводяться тільки їх частини, що відповідають одній фазі. В якості найбільш простого резонансного фільтру може застосовуватися схема, показана на рис. 5.11.

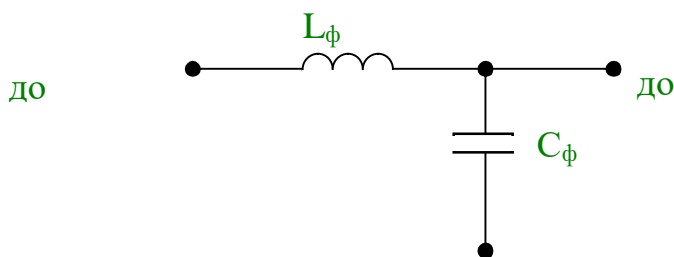


Рисунок 5.11 – Г-подібний резонансний LC-фільтр першого порядку

На відміну від традиційної схеми фільтро-компенсуючих пристроїв, розглянутих в першому розділі, в даному випадку індуктивність включена послідовно з навантаженням, обмежуючи, таким чином, вищі гармоніки. Враховуючи, що в тут організований резонансний контур короткого замикання для однієї з вищих гармонік з боку мережі, фільтр дозволяє повністю «погасити» гармоніку, що відповідає резонансній частоті, і істотно обмежити інші.

На рис. 5.12 представлена схема послідовно-паралельний фільтр другого порядку. У ній реалізовано два резонансні контури. Зусилля дослідників були спрямовані на те, щоб знайти таке поєднання параметрів фільтру, при якому схема має максимальний опір на частоті паразитних гармонік і мінімальний на

основній частоті. Пошук ведеться одночасно з врахуванням усіх параметрів – індуктивності L_ϕ , ємності $C_{\phi 1}$, $C_{\phi 2}$. Активний опір виступає в ролі підстроюваного елементу. На жаль, практична реалізація цього фільтру ускладнена через суперечності вимог по сумарному падінню напруги на ньому і параметрів компонентів.

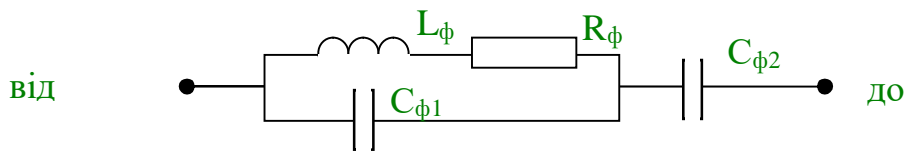


Рисунок 5.12 – Послідовно-паралельний фільтр другого порядку

5.2 Дослідження по вибору параметрів і ефективності застосування пропонуваніх засобів підвищення енергоефективності АД

На наш погляд, слід змінити приведені схемні рішення і переглянути стратегію пошуків. Доцільніше використати схеми, показані на рис. 5.13. Фільтр, реалізований таким чином, є комбінацією загороджувального, включеного послідовно з навантаженням для забезпечення резонансу струмів на частоті однієї з вищих гармонік, і додаткового елементу (ємності або індуктивності) для забезпечення контура короткого замикання для іншої гармоніки.

Дві можливі структури фільтрів відрізняються типом елементу, що підключається паралельно до навантаження. Вибір тієї або іншої структури пов'язаний з вибором резонансних частот для частини загороджувального фільтру – f_1 , яка забезпечує резонанс струмів для «замикання» однієї з гармонік і для кола «фаза - нульова точка» – f_2 , яка забезпечує резонанс напруги і, таким чином, контур короткого замикання для іншої гармоніки.

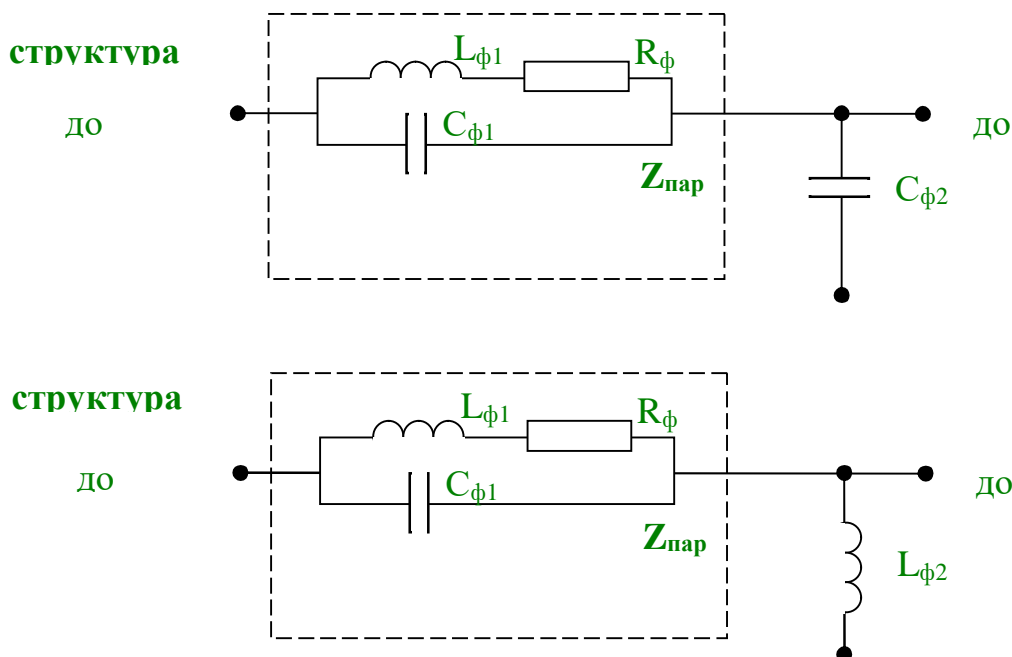


Рисунок 5.13 – Пропоновані варіанти реалізації комбінованого Г-подібного LC-фільтра другого порядку

Усі параметри фільтру, такі як резонансні частоти, опори гілок на різних частотах, комплексний опір на основній частоті, взаємозв'язані і визначаються поєднанням його індуктивностей і ємностей. Називатимемо частину фільтру, послідовно сполучену з навантаженням – «фільтром-пробкою», коли ж мова піде про контур протікання струмів «мережа - нульова точка», тобто через увесь фільтр, говоритимемо про опір усього комбінованого фільтру.

Таким чином, поставимо завдання оптимізації виходячи з одночасного виконання наступних умов :

- забезпечення резонансу струмів на частоті небажаної паразитної гармоніки в колі, послідовному з навантаженням (фільтра-пробки);
- резонанс напруги комбінованого фільтру на частоті однієї з паразитних гармонік; вибір і обґрунтування частоти резонансу напруги;
- опір фільтра-пробки на частоті 50 Гц має бути мінімальним;
- необхідно забезпечити індуктивний характер опору фільтра-пробки;
- резонанс напруги комбінованого фільтру на необхідній частоті однієї з паразитних гармонік;

- характер комбінованого фільтру на основній частоті для компенсації реактивної потужності в мережі має бути ємнісним;
- технічна реалізованість параметрів фільтрів.

Повний опір фільтру за схемою «А» може бути розрахований як опір послідовно сполученої «пробки» і конденсатора $C_{\phi 2}$. Залежність комплексного опору від частоти в даному випадку має вигляд:

$$Z_{\Sigma}(\omega) = \frac{R_{\phi} \omega^2 L_{\phi 1}^2}{R_{\phi}^2 + \left(\omega L_{\phi 1} - \frac{1}{\omega C_{\phi 1}} \right)^2} + j \left[\frac{\omega L_{\phi 1} R_F^2 + \frac{L_{\phi 1}}{\omega C_{\phi 1}^2}}{R_F^2 + \left(\omega L_{\phi} - \frac{1}{\omega C_{\phi 1}} \right)^2} - \frac{1}{\omega C_{\phi 2}} \right], \quad (5.2)$$

де ω – кутова частота живлячої напруги.

Для схеми «Б» ця залежність має вигляд:

$$Z_{\Sigma}(\omega) = \frac{R_{\phi} \omega^2 L_{\phi 1}^2}{R_{\phi}^2 + \left(\omega L_{\phi 1} - \frac{1}{\omega C_{\phi 1}} \right)^2} + j \frac{\omega L_{\phi 1} R_{\phi}^2 + \frac{L_{\phi 1}}{\omega C_{\phi 1}^2} + \omega L_{\phi 2}}{R_{\phi}^2 + \left(\omega L_{\phi 1} - \frac{1}{\omega C_{\phi 1}} \right)^2}. \quad (5.3)$$

Повний опір комбінованого фільтру (5.2), (5.3) є функцією декількох змінних. Інтерес представляє дослідження його частотних характеристик, в залежності від частоти, на яку налаштований резонанс струмів фільтру-пробки, а також параметрів фільтру L_{ϕ} , $C_{\phi 1}$, $C_{\phi 2}$. Оскільки відобразити графічно функції трьох змінних неможливо, тому досліджуємо цю залежність в перерізах.

На рис. 5.14 показані залежності опорів, що вносяться фільтром-пробкою в коло послідовно з навантаженням, на різних частотах. При цьому різним лініям відповідають різні резонансні частоти фільтру-пробки. Їх аналіз свідчить про те, що чим вище частота, на яку налаштований резонанс струмів, тим менший опір вноситься в коло живлення споживача на частоті 50 Гц. Таким чином, налаштування фільтру-пробки на резонанс струмів на частоті 100 Гц нераціональне, прийнятніше використати налаштування на більш високі гармоніки – 5,7,11 і так далі, оскільки на основній частоті при цьому опір

фільтрів складає одиниці Ом. Другу ж гармоніку слід усувати за допомогою організації контура короткого замикання.

Падіння напруги на фільтрі-пробці визначається як результуючим опором, так і струмом споживача. Тому чим вище потужність споживача, тим більшою має бути резонансна частота, на яку налагоджений фільтр-пробка.

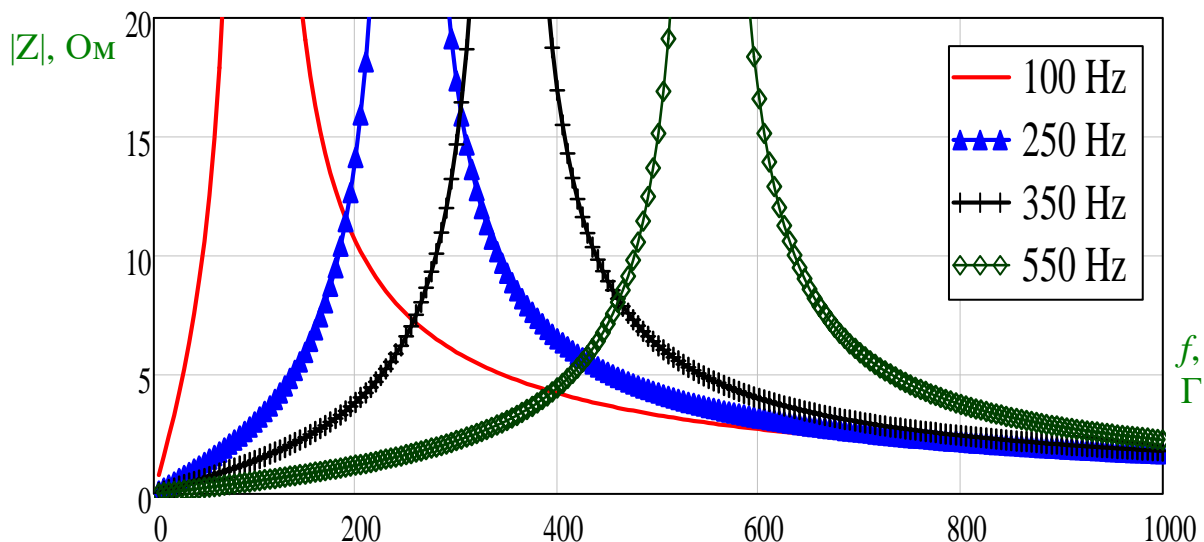


Рисунок 5.14 – Залежність опору фільтра-пробки на частоті 50 Гц від частоти, на яку налаштований резонанс струмів

Виконаємо пошук найкращого поєднання резонансних частот комбінованого фільтру. Задамо цикл, в ході якого розглянемо усі можливі комбінації частот $f_1 > f_2$. Для кожного поєднання розрахуємо опори частин фільтру і проведемо моделювання режиму, що встановився, в якому оцінимо ККД електродвигуна з урахуванням наявності фільтрів за схемою рис. 5.13. Відмітимо, що за умови $f_1 > f_2$ необхідно вибирати структуру «А», інакше - «Б». Це пов'язано з умовою відносного характеру результуючого опору загороджувального фільтру.

На рис. 5.15 показана залежність ККД від резонансних частот f_1 і f_2 , яка є тривимірною поверхнею (а), і її проекція в площині частот (б).

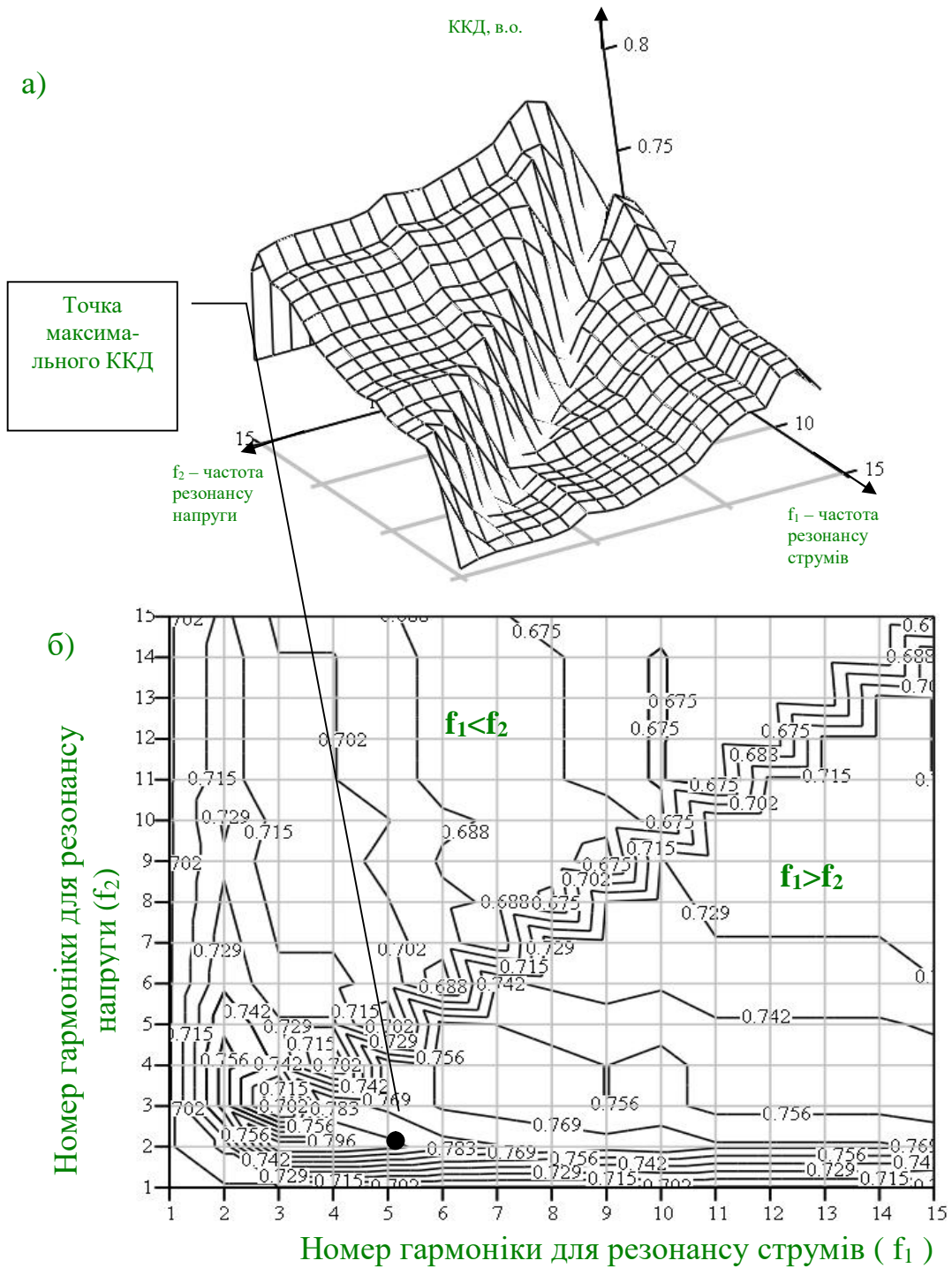


Рисунок. 5.15 – Залежність ККД асинхронного двигуна з комбінованим фільтром від резонансних гармонік (а) і його проекція (б)

Аналіз представленої поверхні показує, що результуючий ККД електродвигуна виходить великим у тому випадку, якщо частота резонансу струмів вища, ніж частота резонансу напруги $f_1 > f_2$. Це пов'язано з тим, що при налаштуванні фільтру-пробки на деяку частоту f_1 , для усіх гармонік з частотами

нижче f_1 ця частина фільтру є індуктивним опором. Таким чином, відбувається додаткове зниження рівня втрат, обумовлених спотворенням живлячої напруги.

Таким чином, найбільший ККД системи виходить, якщо резонанс напруги налаштований на частоту другої гармоніки ($f_2=100$ Гц). Частота, на яку слід настроїти резонанс струмів, має бути вибрана виходячи зі специфіки показників якості в умовах конкретного цеху. Встановлено, що для випадків, розглянутих вище, найбільш доцільне налаштування на частоту 500 Гц.

Отже, ітеративним методом може бути знайдене таке співвідношення параметрів комбінованого Г-подібного фільтру, при якому в коло живлення АД вноситься великий опір на частоті однієї з вищих паразитних гармонік, і при цьому одночасно організовується контур міжфазного короткого замикання для однієї з гармонік, наприклад на частоті 100 Гц. При цьому слід враховувати реальні вартості компонентів фільтрів залежно від бажаних налаштувань останнього. Для цього необхідно використати прайси на відповідні комплектуючі.

На рис. 5.16 показані струми асинхронного двигуна потужністю 7,5 кВт, працюючого в умовах неякісної електроенергії при підключенні до нього комбінованого фільтру, параметри якого розраховані за приведеною методикою. Аналіз графіків свідчить про те, що досягнуте значне зниження рівня гармонійних складових.

Ефективність запропонованого методу була також перевірена шляхом обчислювальних досліджень загальнопромислових електродвигунів потужністю в діапазоні 7,5 - 250 кВт працюючих в умовах неякісної електроенергії. На гістограмах рис. 5.17 – 5.18 представлені основні енергетичні показники деяких з них за відсутності/наявності на вході комбінованого фільтру за схемою рис. 5.13 (а).

Аналіз результатів моделювання показує, що ефективність фільтрів, тобто відносні зміни енергетичних параметрів, обернено пропорційні до встановленої потужності електродвигунів. Це пов'язано з меншою чутливістю двигунів великої потужності до спотворень живлячої напруги.

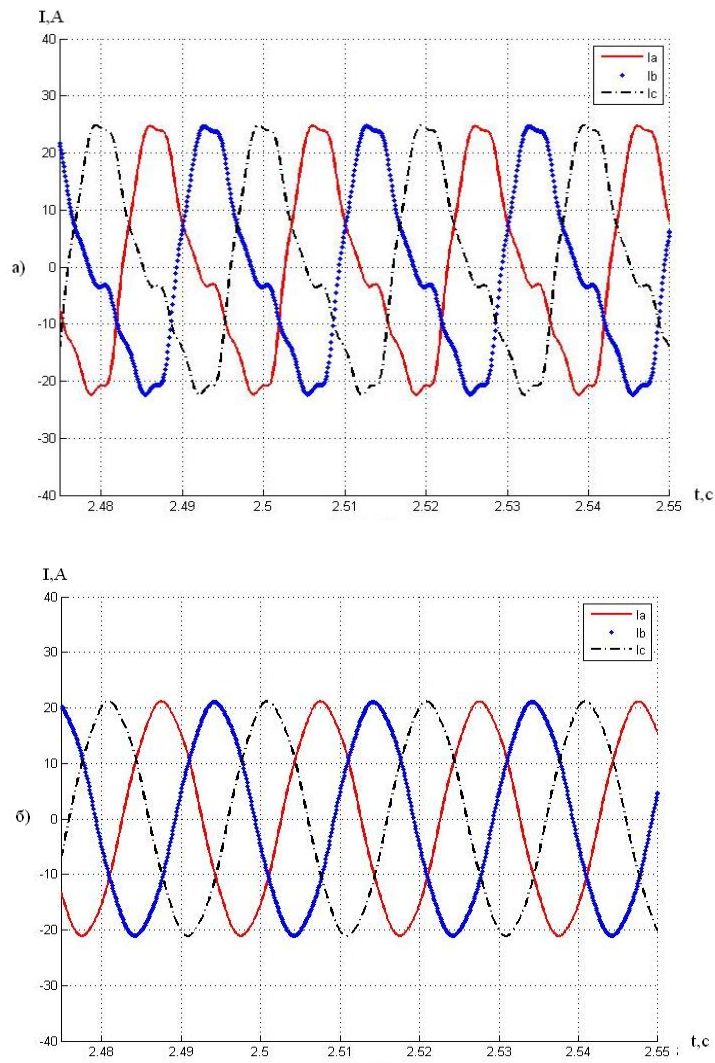
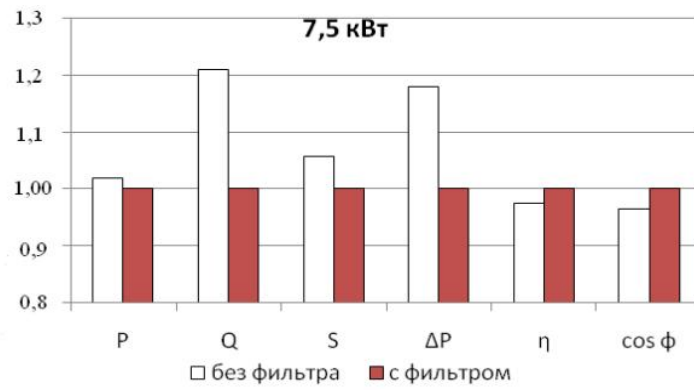


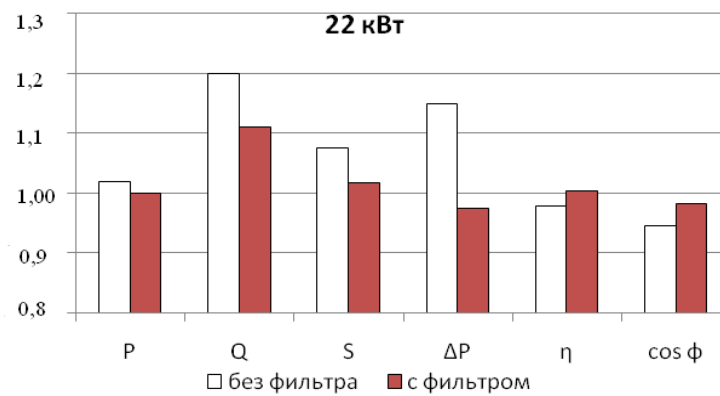
Рисунок 5.16 – Струми асинхронного двигуна (7,5 кВт), що працює в умовах живлення неякісною електроенергією : а) без фільтру; б) при підключенні комбінованого фільтру

В.о.



а)

В.о.



б)

Рисунок 5.17 – Основні енергетичні показники двигунів потужністю 7,5 кВт (а) і 22 кВт (б) за наявності/відсутності на вході комбінованого фільтру

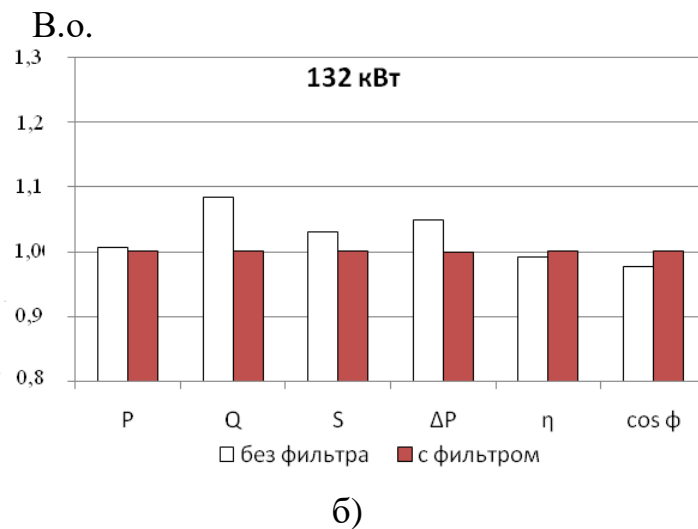
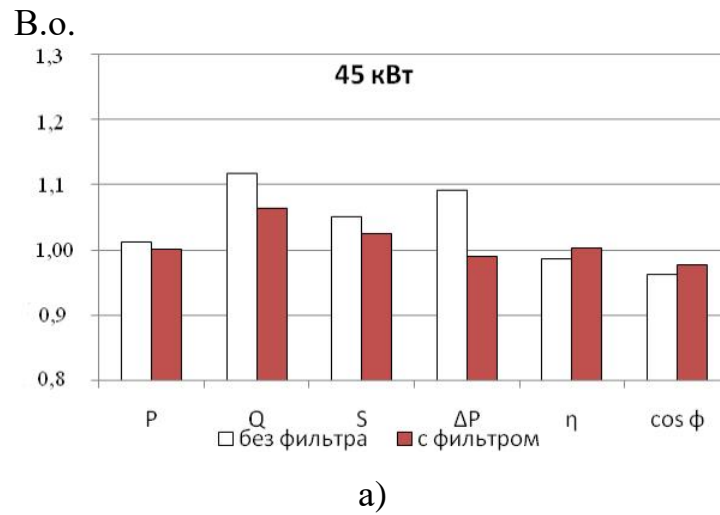


Рисунок 5.18 – Основні енергетичні показники двигунів потужністю 45 кВт (а) і 132 кВт (б) за наявності/відсутності на вході комбінованого фільтру

Підводячи підсумок можна зазначити, що для підвищення ККД асинхронних двигунів, працюючих в мережах з неякісною електроенергією, найбільш доцільне застосування комбінованого фільтру, що є послідовно сполученим загороджуючим фільтром (пробка) в кожній фазі і ємностей, сполучених в зірку. Найбільший ККД електродвигуна з таким фільтром, що є послідовно сполученим загороджуючим фільтром (пробка) в кожній фазі і ємностей, сполучених в зірку, досягається, коли даний фільтр налаштований на резонанс струмів на частоті 100 Гц, а резонанс напруги – на частоту 500 Гц. Застосування пасивних комбінованих фільтрів найбільш доцільне для електродвигунів малої і середньої потужності (до 45 кВт).

6 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

6.1 Загальні поняття про собівартість продукції

Під собівартістю продукції розуміють витрати на виробництво і реалізацію одиниці продукції.

Залежно від повноти витрат, що включаються в собівартість продукції, традиційно виділяються наступні види собівартості продукції :

- технологічна собівартість – це витрати на сировину, матеріали, паливо, енергію, витрачені в процесі виготовлення продукції, плюс безпосередньо пов'язані з виготовленням продукції витрати на оплату праці з нарахуваннями і витрати пов'язані зі складом та експлуатацією обладнання; усі ці витрати є прямими, тобто безпосередньо пов'язаними з випуском продукції;

- виробнича собівартість – технологічна собівартість плюс витрати, пов'язані з керуванням виробничими підрозділами, що випускають продукцію; ці витрати можуть бути прямими або непрямими, якщо виробничі підрозділи випускають декілька видів продукції;

- повна собівартість готової продукції – виробнича собівартість плюс частина постійних витрат, не пов'язаних з виробництвом, які умовно віднесені (розподілені) на цей вид продукції;

- повна собівартість реалізованої готової продукції – повна собівартість готової продукції плюс витрати, пов'язані з її доставкою споживачеві (покупцеві).

Така класифікація витрат є типовою, і підприємства можуть вносити в неї зміни з урахуванням особливостей виробничого процесу.

До складу повної собівартості готової продукції, окрім витрат, що становлять виробничу собівартість, включаються адміністративні витрати, а також частина витрат на збут, які не пов'язані з виплатою винагород за продаж продукції, її страхуванням вантаженням і доставкою продукції споживачеві і є постійними. До таких витрат відносяться витрати на маркетинг і рекламу, на

амортизацію ремонт і склад основних засобів та інших необоротних матеріальних активів, які використовувались для збуту, витрати на оплату праці (з нарахуваннями) зайнятих збутом працівників, якщо оплата праці не пов'язана з об'ємом продажу.

Крім того, до складу повної собівартості готової продукції можуть включатися і інші постійні витрати.

6.2 Класифікація витрат, що утворюють собівартість продукції

Витрати, що входять в собівартість продукції класифікуються наступним ознаками:

- по центрах (місцях) виникнення;
- по видах продукції (об'єктах калькуляції);
- по однорідності витрат – одноелементні і комплексні;
- по видах витрат – витрати по економічних елементах, витрати статтям калькуляції;
- по способах віднесення на собівартість продукції – прямі витрати і непрямі (непрямі, накладні) витрати;
- по мірі впливу обсягу виробництва на рівень витрат – змінні і постійні (умовно-постійні);
- по календарних періодах – поточні, довгострокові, одноразові;
- по відношенню до виробничого процесу – виробничі і невиробничі;
- по відношенню до включення в собівартість – витрати на продукцію, витрати періоду.

Класифікація витрат за калькуляційними статтями викликана потребами обліку і планування витрат. Склад і число калькуляційних статей залежить від виду собівартості.

6.3 Розрахунок собівартості передачі і повної собівартості електроенергії проектованої лінії

Витрати на передачу і розподіл електроенергії можна представити як суму витрат на амортизацію, експлуатаційне обслуговування мережі.

Витрати на експлуатаційне обслуговування електричної мережі складаються з витрат на оплату праці ремонтно-експлуатаційного персоналу, нарахувань на оплату праці, на допоміжні матеріали, цехових та інших витрат.

Початкові дані:

$$P_{роз.} = 8000 \text{ кВт};$$

$$T_{max} = 4400 \text{ год.}$$

Приймаємо втрати в кабельних мережах підприємства рівними 1% від споживаної потужності.

$$\Delta W_{кл} = W_p \cdot P_{роз.} \cdot T_{max} \cdot 0,01;$$

$$\Delta W_{кл} = 8000 \cdot 4400 \cdot 0,01 = 352000 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік.}$$

Втрати електроенергії в трансформаторі ТП визначаємо по формулі:

$$\Delta W_{тр} = P_x \cdot T_p + P_{к.з.} \cdot K_z \cdot T_{max};$$

$$\Delta W_{тр} = 14 \cdot 4400 + 60 \cdot 0,82 \cdot 4400 = 230560 \text{ кВт}\cdot\text{год.}/\text{рік}$$

де P_x і $P_{к.з.}$ – активні потужності хх і к.з., кВт;

T_p – число годин роботи трансформатора в рік, год.;

T_{max} – число годин використання максимуму навантаження в рік, год.;

K_z – коефіцієнт завантаження трансформатора.

Визначимо річний об'єму енергоспоживання:

- корисного:

$$W_{кор} = P_{роз.} \cdot T_{max};$$

$$W_{кор} = 8000 \cdot 4400 = 35\,200\,000 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік.}$$

де $P_{роз}$ – розрахункове навантаження, кВт.

- повного:

$$W_{пов.} = W_{кор.} + \Delta W_{кл} + \Delta W_{тр};$$

$$W_{пов.} = 35\,200\,000 + 352\,000 + 230560 = 35782560 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік,}$$

де $\Delta W_{кл}$, $\Delta W_{тр}$ – втрати енергії в КЛ і трансформаторі.

При визначенні річного об'єму енергоспоживання можна використати результати розрахунків, приведені в основних розділах дипломної роботи. Витрати на обслуговування електричної мережі залежать від об'єму ремонтно-експлуатаційних робіт.

Тому робиться розрахунок середньорічної трудоемності по ремонту і експлуатації обладнання.

Питомі норми трудоемності робіт по ремонту і обслуговуванню обладнання оформляємо у вигляді табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Питомі норми трудоемності робіт по ремонту і обслуговуванню обладнання

№ з/п	Найменування обладнання	К-ть	Трудоемність, чол.год.		
			Кап. ремонт	Пот. ремонт	Огляд
1	Шафа КРП	1	39	13	3,25
2	КЛ 10 кВ, км	0,245	220	43	10,7
3	Трансформатор 10/0,4 кВ	8	52	11	1,5
4	РП НН КТП	8	30	8	1,0
5	Розподільча шафа 0,4 кВ	4	20	6	1,0
6	КЛ 0,4 кВ, км	0,65	93	21	5,1

Структура ремонтного циклу обладнання представлена в табл. 6.2.

Середньорічна трудоемність робіт по ремонту розраховується окремо для кожного найменування обладнання і мереж по формулі:

$$T_{\text{ср.річ.рем.}} = n \left(\frac{T_k}{t_k} + \frac{T_T}{t_T} + \frac{T_0}{t_0} \right),$$

де n – кількість обладнання цього найменування;

T_k , T_T , T_0 – трудоемність капітального, поточного ремонтів і огляду, чол.год.;

t_k , t_T , t_0 – періодичність ремонтів і оглядів по видах обладнання, років.

Таблиця 6.2 – Структура ремонтного циклу обладнання

№ з/п	Найменування устаткування	К-ть	Періодичність, років		
			Кап. ремонт	Пот. ремонт	Огляд
1	Шафа КРП	1	3	2	0,083
2	КЛ 10 кВ, км	0,245	15	3	1
3	Силовий трансформатор 10/0,4 кВ	8	12	3	0,17
4	РП НН КТП	8	4	2,3	0,12
5	Розподільча шафа 0,4 кВ	4	3,5	1,9	0,07
6	КЛ 0,4 кВ, км	0,65	17	4	1

Для шафи КРП:

$$T_{\text{ср.річ.рем.}} = 1 \cdot \left(\frac{39}{3} + \frac{13}{2} + \frac{3,25}{0,083} \right) = 65,157 \text{ чол.год.}$$

Трудоємність робіт по технічному обслуговуванню обчислюється:

$$T_{\text{т.о.}} = n \cdot 0,1 \cdot T_{\text{т}};$$

$$T_{\text{т.о.}} = 1 \cdot 0,1 \cdot 13 = 1,3 \text{ чол.год.,}$$

де $T_{\text{т.о.}}$ – трудомісткість робіт по технічному обслуговуванню, чол.год.;

$T_{\text{т}}$ – трудоємність поточного ремонту відповідного виду обладнання.

Загальна трудоємність складе:

$$T_{\text{заг}} = T_{\text{т.о.}} + T_{\text{ср.річ.рем.}};$$

$$T_{\text{заг}} = 1,3 + 65,157 = 66,457 \text{ чол.год.}$$

Результати розрахунків по іншому обладнанню зводимо в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Трудоємність робіт по обслуговуванню обладнання

№ з/п	Найменування обладнання	Трудомісткість, чол.год.		
		$T_{\text{ср.річ.рем}}$	$T_{\text{т.о}}$	$T_{\text{заг}}$
1	Шафа КРП	65,157	1,3	66,457
2	КЛ 10 кВ, км	9,727	1,0535	10,7805
3	Силовий трансформатор 10/0,4 кВ	134,588	8,8	143,388
4	РП НН КТП	154,493	6,4	160,893
5	Розподільча шафа 0,4 кВ	92,632	2,4	95,032
6	КЛ 0,4 кВ, км	10,283	1,365	11,648
	Разом	466,88	21,3185	488,1985

Розрахунок річних витрат по оплаті праці розпочинається з визначення заробітної плати ремонтно-експлуатаційного персоналу.

Основна заробітна плата розраховується по формулі:

$$Z_{осн.} = T_{заг} \cdot t_{год} \cdot (1 + \alpha), \text{ грн.},$$

де $T_{заг}$ – загальна трудоемність по ремонту і обслуговуванню обладнання, чол.год.;

$t_{год}$ – годинна тарифна ставка, що відповідає середньому розряду робіт,
 $t_{год} = 3,0$ грн.

α – коефіцієнт, що враховує розмір премії, $\alpha = 0,8$.

Додаткова заробітна плата складає 9,6% від основної, тобто:

$$Z_{дод.} = 0,096 \cdot Z_{осн.}, \text{ грн.}$$

Фонд заробітної плати визначається по формулі:

$$\Phi_{з.п.} = Z_{осн.} + Z_{дод.}, \text{ грн.}$$

Нарахування на оплату праці складає 39,35% від основної і додаткової заробітної плати:

$$H = 0,3935 \cdot \Phi_{з.п.}, \text{ грн.}$$

Таблиця 6.4 – Розрахунок річних витрат по оплаті праці

№ з/п	Найменування обладнання	Фонд соціального страхування грн.	Пенсійний фонд грн.	Фонд страхування від нещасних випадків на виробництві, грн.	Фонд страхування на випадок безробіття грн.	Нарахування, грн.
1	Шафа КРП	11,406	125,862	10,030	7,473	154,771
2	КЛ 10 кВ, км	1,850	20,417	1,627	1,212	25,107
3	Силовий трансформатор 10/0,4 кВ	24,610	271,561	21,640	16,124	333,935
4	РП НН КТП	27,615	304,713	24,282	18,092	374,702
5	Розподільча шафа 0,4 кВ	16,311	179,980	14,342	10,686	221,319
6	КЛ 0,4 кВ, км	1,999	22,060	1,758	1,310	27,127
Разом:		83,791	924,593	73,679	54,898	1136,961

У тому числі:

- фонд соціального страхування – 2,9%;

- пенсійний фонд – 32%;
- фонд страхування від нещасних випадків на виробництві – 2,55%;
- фонд страхування на випадок безробіття – 1,9% .

Таблиця 6.5 – Розрахунок річних витрат по оплаті праці

№ з/п	Найменування обладнання	Зосн., грн.	Здод., грн.	Фз.п., грн.
1	Шафа КРП	358,868	34,451	393,319
2	КЛ 10 кВ, км	58,215	5,589	63,803
3	Силовий трансформатор 10/0,4 кВ	774,295	74,332	848,628
4	РП НН КТП	868,822	83,407	952,229
5	Розподільча шафа 0,4 кВ	513,173	49,265	562,437
6	КЛ 0,4 кВ, км	62,899	6,038	68,938
Разом:		2636,272	253,082	2889,354

Амортизаційні відрахування визначаються на підставі величини капітальних вкладень в обладнання і мережі з діючих норм амортизаційних відрахувань. Норми амортизаційних відрахувань на силове електротехнічне обладнання і розподільні пристрої – 4,4%, на кабельні і повітряні лінії – 2%.

Капітальні вкладення беруться повні з урахуванням витрат на монтажно-будівельні роботи:

$$\sum K = n \cdot K, \text{ грн.},$$

де $\sum K$ – сума капітальних вкладень, грн.;

K – капітальні вкладення на одиницю обладнання, грн.;

n – кількість обладнання.

Амортизаційні відрахування:

$$A = Na \cdot \sum K, \text{ грн.},$$

де Na – норма амортизаційних відрахувань.

Розрахунки за визначенням капітальних вкладень на обладнання і мережі, та суму амортизаційних відрахувань зводимо в табл. 6.6

Таблиця 6.6 – Капітальних вкладень на обладнання і мережі та сума амортизаційних відрахувань

№ з/п	Найменування обладнання	К-ть	Капітальні вкладення на од. обладнання грн.	Сума кап. вкладення грн.	Норми амортиз. відрахувань, %	Сума амортиз. відрахувань, грн.
1	Шафа КРП	1	70000	70000	4,4	3080
2	КЛ 10 кВ, км	0,245	22410	5490,450	2	109,809
3	Силовий трансформатор 10/0,4 кВ	8	211100	1688800	4,4	74307,200
4	РП НН КТП	8	30000	240000	4,4	10 560
5	Розпод. шафа 0,4 кВ	4	5000	20000	2	400
6	КЛ 0,4 кВ, км	0,65	3030	1 969,500	4,4	86,658
Разом:			341540	2026259,950		88 543,667

Витрати на допоміжні матеріали можна прийняти рівним 0,6% від повних капітальних вкладень в обладнання:

$$З_{доп.} = 0,006 \cdot \sum K, \text{ грн.},$$

де $\sum K$ – сумарні капітальні вкладення по усьому обладнанні.

Цехові витрати складають 2,3%:

$$З_{ц.в.} = 0,023 \cdot \sum K, \text{ грн.}$$

Інші витрати можна прийняти рівними 0,3% від повних вкладень в обладнання і лінії :

$$З_{і.в.} = 0,003 \cdot \sum K, \text{ грн.}$$

Витрати по розподілу електроенергії визначаються як сума витрат на матеріали, амортизаційні відрахування, оплату праці виробничих працівників і нарахувань на оплату праці :

$$V_p = Z_{доп.} + A + \Phi_{з.п.} + H, \text{ грн.}$$

Загальні експлуатаційні витрати плануємо у розмірі 170% від витрат по розподілу електроенергії :

$$V_{з.е.} = 1,7 \cdot V_p, \text{ грн.}$$

Таблиця 6.7 – Експлуатаційні витрати

№ з/п	Найменування обладнання	Здоп, грн.	Зцв, грн.	Зі.в., грн.	Вр, грн.	Вз.е., грн.
1	Шафа КРП	420,000	1610,000	210,000	4048,090	6881,753
2	КЛ 10 кВ, км	32,943	126,280	16,471	231,662	393,825
3	Трансформатор 10/0,4 кВ	10132,800	38842,400	5066,400	85622,562	145558,356
4	РП НН КТП	1440,000	5520,000	720,000	13326,931	22655,783
5	Розпод. шафа 0,4 кВ	120,000	460,000	60,000	1303,757	2216,386
6	КЛ 0,4 кВ, км	11,817	45,299	5,909	194,539	330,717
Разом:		12157,560	46603,979	6078,780	104727,542	178036,821

Собівартість передачі електроенергії визначаємо як суму витрат по розподілу електроенергії, інших витрат, цехових витрат і загальних експлуатаційних витрат :

$$C_n = V_r + Z_{i.v.} + Z_{c.v.} + B_{z.e.};$$

$$C_n = 104727,542 + 6078,780 + 46603,979 + 178036,821 = 335447,121 \text{ грн.}$$

Вартість електроенергії, отриманої із зовнішніх джерел :

$$C_e = W_{нов} \cdot C_0;$$

$$C_e = 35782560 \cdot 1,64 = 11450419,2 \text{ грн/рік.}$$

де $W_{нов}$ – повне річне електроспоживання з урахуванням втрат в кабельних лініях і трансформаторах;

C_0 – тариф на електроенергію, $C_0 = 1,64$ грн/кВт·год.

Розрахунки експлуатаційних витрат представлено в табл. 6.8.

Собівартість передачі 1 кВт·год електроенергії визначається таким чином:

$$S_{\text{передачі}} = \frac{\sum B}{W_{\text{кор.}}} = \frac{(335447,121) \cdot 10^2}{35200000} = 0,953 \text{ коп} \cdot \text{кВт/год.}$$

де $\sum B$ – річні витрати по передачі електроенергії;

$W_{\text{кор.}}$ – витрата електроенергії за рік, корисно доведеної до споживача.

Повна собівартість електроенергії визначається:

$$S_{\text{пов.}} = \frac{\sum B_{\text{пов.}}}{W_{\text{кор.}}} = \frac{(335447,121 + 11450419,2) \cdot 10^2}{35200000} = 33,48 \text{ коп} \cdot \text{кВт/год.}$$

Таблиця 6.8 – Калькуляція експлуатаційних витрат

№ з/п	Найменування показників	Сума грн.
1	Вартість електроенергії, отриманої із зовнішніх джерел	11450419,2
2	Собівартість передачі електроенергії	335447,121
2.1	Витрати по розподілу електроенергії У тому числі: Матеріали Амортизація Оплата праці виробничих робітників Нарахування на оплату праці У тому числі: Пенсійний фонд Фонд соціального страхування Фонд страхування на випадок безробіття Фонд страхування від нещасних випадків на виробництві	2118829,932 2026259,950 88543,667 2889,354 1136,961 924,593 83,791 54,898 73,679
2.2	Інші витрати	6078,780
2.3	Цехові витрати	46603,979
2.4	Загальні експлуатаційні витрати	178036,821
3	Всього витрат за повною собівартістю	2349549,5

Вартість втрат електроенергії в калькуляції окремою статтею не виділяється, а враховується побічно шляхом віднесення суми витрат по передачі електроенергії та її купівлі із зовнішніх джерел (повна собівартість електроенергії з урахуванням втрат) до кількості енергії, корисно доведеної до споживача.

Таблиця 6.9 – Підсумкові техніко-економічні показники

№ з/п	Найменування показника	Од. вим.	Показник
1	Кількість електроенергії, отриманої від енергосистеми	кВт·год/рік	35782560
2	Втрати електроенергії в рік	кВт·год/рік	582560
3	Кількість електроенергії корисно доведеної до споживачів	кВт·год/рік	35200000
4	Вартість електроенергії, отриманої із зовнішніх джерел	грн/рік	11450419,2
5	Собівартість передачі електроенергії	грн/рік	335447,121
6	Собівартість передачі 1 кВт·год електроенергії	коп/кВт·год	0,953
7	Повна собівартість 1 кВт·год електроенергії	коп/кВт·год	33,48

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Вимоги до заземлюючих пристроїв електроустановок напругою вище 1 кВ з великими струмами замикання на землю

Згідно ПУЕ опір заземлюючого пристрою в цих електроустановках не повинен перевищувати 0,5 Ом. Проте одне лише обмеження величини опору заземлюючого пристрою не забезпечує прийнятних величин напруги дотику і крокової напруги при струмах замикання на землю величиною в декілька кілоампер. Наприклад, при струмі короткого замикання 6 кА на заземлюючому пристрої виникає напруга 3 кВ. Тому додатково до обмеження опору заземлюючого пристрою передбачається виконання наступних заходів :

- швидкодіюче відключення при замиканнях на землю;
- вирівнювання потенціалів в межах території, на якій знаходиться електроустановка, і на її границях.

Для вирівнювання потенціалів на території електроустановки на глибині 0,5-0,8 м повинна закладатися сітка з вирівнюючих провідників. Повздовжні провідники закладаються паралельно осям обладнання на відстані 0,8-1 м від фундаментів або підставок обладнання і з'єднуються між собою по усій площі поперечними провідниками з кроком не більше 6 м. Для поліпшення вирівнювання на межі контура крайні провідники сітки, з яких відбувається більше стікання струму в землю, укладаються на глибині близько 1 м.

Вирівнювання потенціалів має бути також здійснене у входів і в'їздів на територію електроустановки шляхом укладання двох додаткових смуг з поступовим заглибленням: на відстані 1 і 2 м від заземлювача на глибині 1 і 1,5 м відповідно.

При розміщенні електроустановки на достатній площі відстань від меж заземлювача до огорожі електроустановки має бути не менше 3 м, і огорожа в цьому випадку не заземляється. У місцях, що часто відвідуються персоналом, і

в місцях входів і в'їздів доцільно встановлювати доріжки з асфальтним або гравійним покриттям, що мають малу провідність.

В цілях виключення винесення потенціалу за межі території електроустановки з великим струмом замикання на землю забороняється живлення приймачів, що знаходяться поза територією електроустановки, робити від трансформаторів із заземленою нейтраллю при напрузі 380/220 або 220/127 В, що знаходяться в межах території електроустановки. У разі потреби живлення таких приймачів повинне здійснюватися від трансформаторів з ізолюваною нейтраллю.

При розташуванні електроустановок з великим струмом замикання на землю біля цехів промислових підприємств повинні виконуватися наступні заходи:

- усі прилеглі будівлі повинні включатися в загальний контур заземлення;
- повинні прийматися заходи щодо вирівнювання потенціалів всередині цехів;
- навколо будівель на відстані 1 м від стін на глибині 1 м має бути прокладений провідник, сполучений із заземлюючими провідниками всередині будівлі, а у входів і в'їздів до будівель має бути виконане вирівнювання потенціалів шляхом прокладення додаткових смуг з поступовим заглибленням;
- навколо будівель слід будувати асфальтові доріжки шириною 1-1,5 метрів.

Оскільки струми короткого замикання на землю в даних установках мають значні величини, має бути забезпечена термічна стійкість заземлюючих провідників. Перерізи заземлюючих провідників мають бути вибрані такими, щоб при протіканні по них різних струмів однофазних замикань на землю температура їх за час до спрацьовування основного захисту не перевищила допустимої – 400 °С. Відповідно до цього мінімальний переріз провідників по допустимому нагріву струмом однофазного замикання на землю визначається по формулі:

$$S = I_3 \frac{\sqrt{t_n}}{c},$$

де I_3 – усталений струм короткого замикання;

t_n – приведений час проходження струму на землю;

c – постійна: для сталі – 74, для голих мідних провідників – 195, для кабелів напругою до 10 кВ з мідними жилами – 182, для голих алюмінієвих провідників і кабелів з алюмінієвими жилами напругою до 10 кВ – 112.

В якості усталеного струму короткого замикання при розрахунках приймається найбільший струм, що проходить через провідник при замиканні на даному пристрої або при однофазних замиканнях на землю поза ним, для можливої експлуатації схеми мережі з урахуванням розподілу струму короткого замикання на землю між заземленими нейтральними мережі.

7.2 Розрахунок заземлюючого пристрою ГПП 110/10 кВ

Зробимо розрахунок заземлювачів в двошаровій землі методом наведених потенціалів по допустимому опору підстанції 110/10 кВ. На території підстанції розташовані два трансформатори з ефективно заземленою нейтраллю з боку 110 кВ, для живлення власних потреб передбачені два трансформатори 10/0,4 кВ з глухозаземленою нейтраллю з боку 0,4 кВ, розподільний пристрій 110 кВ відкритого типу, 10 кВ – закритого. Територія підстанції займає площу $S = a \cdot b = 25 \cdot 30 = 750 \text{ м}^2$. Заземлювач виконаний горизонтальними смуговими електропроводами перерізом $4 \times 40 \text{ мм}$ і вертикальними стержневими електродами довжиною $L_с = 5 \text{ м}$, діаметром $d = 12 \text{ мм}$, глибина заставляння електродів в землю $t = 0,7 \text{ м}$. Розрахунковий питомий опір верхнього і нижнього шарів $\rho_1 = 230 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, $\rho_2 = 60 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ відповідно, товщина верхнього шару землі $h_1 = 2,8 \text{ м}$. В якості природного заземлювача використовуємо систему трос – опори відповідної до підстанції повітряної лінії 110 кВ на металевих опорах з довжиною прольоту $l = 60 \text{ м}$, лінія має один сталевий грозозахисний трос ($n_m = 1$) перерізом $S = 50 \text{ мм}^2$, розрахунковий опір заземлення

однієї опори $r_{on}=12$ Ом, число опор з тросом на лінії більше 20. Розрахунковий струм замикання на землю на стороні 110 кВ складає 8,12 кА.

Згідно з вимогами ПУЕ для сторони 110 кВ опір заземлювача розтіканню струму має бути $R_3 < 0,5$ Ом

Опір природного заземлювача для ПЛ 110 кВ визначаємо по формулі:

$$R_e = \sqrt{r_{on} \cdot \frac{0,15 \cdot L}{S \cdot n_T}};$$

$$R_e = \sqrt{12 \frac{0,15 \cdot 60}{50 \cdot 1}} = 1,47 \text{ Ом.}$$

Опір штучного заземлювача визначаємо по формулі:

$$R_{ш} = \frac{R_e \cdot R_3}{R_e - R_3} = \frac{1,47 \cdot 0,5}{1,47 - 0,5} = 0,76;$$

$$R_{ш} = \frac{1,47 \cdot 0,5}{1,47 - 0,5} = 0,76 \text{ Ом.}$$

Складаємо попередню схему заземлювача у вигляді сітки з горизонтальних смугових і вертикальних стержневих електродів. За попередньою схемою визначаємо сумарну довжину горизонтальних і кількість вертикальних електродів :

$$L_2 = 690 \text{ м;}$$

$$n_6 = 130 \text{ шт.}$$

Складаємо розрахункову модель заземлювача у вигляді квадратної сітки площею 900 м².

Довжина однієї її сторони складає:

$$\sqrt{S} = \sqrt{900} = 30 \text{ м.}$$

Кількість комірок m по одній стороні моделі складає:

$$m = \frac{L_2}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1;$$

$$m = \frac{690}{2 \cdot 30} - 1 = 10,5,$$

приймаємо $m=10$.

Уточнюємо сумарну довжину горизонтальних електродів :

$$L_z = 2(m+1)\sqrt{S};$$

$$L_z = 2(10+1) \cdot 30 = 660 \text{ м.}$$

Довжина сторони комірки в моделі:

$$b = \frac{\sqrt{S}}{m};$$

$$b = \frac{30}{10} = 3 \text{ м.}$$

Відстань між вертикальними електродами визначаємо по формулі:

$$a = \frac{4 \cdot \sqrt{S}}{n_e};$$

$$a = \frac{4 \cdot 30}{130} = 0,92 \text{ м.}$$

Сумарна довжина вертикальних електродів складає:

$$L_e = n_e \cdot l_e;$$

$$L_e = 130 \cdot 5 = 650 \text{ м.}$$

Відносна глибина занурення в землю вертикальних електродів:

$$t_{\text{від}} = \frac{(l_e + t_e)}{\sqrt{S}};$$

$$t_{\text{від}} = \frac{5 + 0,7}{30} = 0,19 \text{ м.}$$

Відносна довжина:

$$l_{\text{від}} = \frac{(h_1 - t_e)}{l_e};$$

$$l_{\text{від}} = \frac{2,8 - 0,7}{5} = 0,42 \text{ м.}$$

Знаходимо значення:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{230}{60} = 3,83,$$

при $1 \leq \frac{\rho_1}{\rho_2} \leq 10$

$$K = 0,43 \left(l_{\text{від}} + 0,272 \cdot \ln \frac{\alpha \sqrt{2}}{l_e} \right);$$

$$K = 0,43 \left(0,42 + 0,272 \ln \frac{0,92 \sqrt{2}}{5} \right) = 0,023.$$

Визначаємо розрахунковий еквівалентний питомий опір ґрунту :

$$\rho_e = \rho_2 \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^K;$$

$$\rho_e = 60 \cdot 3,83^{0,023} = 62 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Знаходимо коефіцієнт А при $0,1 < t_{\text{від}} < 0,5$:

$$A = 0,385 - 0,25 \cdot t_{\text{від}};$$

$$A = 0,385 - 0,25 \cdot 0,19 = 0,34.$$

Обчислюємо розрахунковий опір штучного заземлювача:

$$R_u = A \frac{\rho_e}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_e}{L_z + L_e};$$

$$R_u = 0,34 \frac{62}{30} + \frac{62}{690 + 650} = 0,75 \text{ Ом}.$$

Загальний опір заземлювача:

$$R_3 = \frac{R_u \cdot R_e}{R_u + R_e};$$

$$R_3 = \frac{0,75 \cdot 1,47}{0,75 + 1,47} = 0,5 \text{ Ом}.$$

Визначимо потенціал заземлюючого пристрою в аварійний період:

$$\varphi_{\text{з.н.}} = I_3 \cdot R_3;$$

$$\varphi_{\text{з.н.}} = 8120 \cdot 0,5 = 4060 \text{ В}.$$

Цей потенціал допустимий, оскільки він менше 10 кВ.

Таким чином, штучний заземлювач підстанції має бути виконаний з горизонтальних смугових електродів перерізом 4×40 мм загальною довжиною

не менше 660 м і вертикальних стержневих електродів в кількості не менше 130 шт. діаметром 12 мм завдовжки по 5 м, розміщених по периметру заземлювача по можливості рівномірно, тобто на однаковій відстані один від одного; глибина занурення електродів в землю 0,7 м. За цих умов опір $R_{ш}$ штучного заземлювача в саму несприятливу пору року не перевищуватиме 0,5 Ом, а опір заземлювача підстанції в цілому $R_з$, тобто загальний опір штучного і природного заземлювачів буде не більший 0,5 Ом.

7.3 Оцінка стійкості роботи об'єкту енергетики до дії вибуху

Розглянемо випадок, коли стався вибух залізничної цистерни із зрідженим газом на відстані 300 м від цеху механічної обробки.

Кількість зрідженого газу в цистерні – 20 т.

Знаходимо зону детонаційної хвилі (зона I):

$$r_I = 17,5\sqrt{Q_m};$$

$$r_I = 17,5\sqrt{20} = 78,3\text{ м.}$$

Визначимо радіус зони дії продуктів вибуху (зона II):

$$r_{II} = 1,7 \cdot r_I;$$

$$r_{II} = 1,7 \cdot 78,3 = 133,11\text{ м.}$$

$R > r_I$ і $R > r_{II}$, отже, ми знаходимося в зоні III.

Розрахуємо відносну величину ψ :

$$\psi = 0,24 \cdot \frac{R}{r_I};$$

$$\psi = 0,24 \cdot \frac{300}{78,3} = 0,92, \text{ тобто } \psi < 2 .$$

Визначаємо надмірний тиск в зоні повітряної хвилі (зони III):

$$\Delta P_{\phi III} = \frac{700}{3(\sqrt{1 + 29,8\psi^3} - 1)};$$

$$\Delta P_{фш} = \frac{700}{3(\sqrt{1 + 29,8 \cdot 0,92^3} - 1)} = 59,5 \text{ кПа.}$$

По табл. 1.4 [13] знаходимо для підприємства і обладнання надмірний тиск ΔP_{ϕ} (кПа) який викликає слабкі, середні, сильні і повні руйнування:

а) залізобетонна будівля:

- слабке 25÷35 кПа;
- середнє 80÷120 кПа;
- сильне 150÷200 кПа;
- повне 200 кПа;

б) кабельні підземні лінії:

- слабке 200÷300 кПа;
- середнє 300÷600 кПа;
- сильне 600÷1000 кПа;
- повне 1500 кПа.

Визначаємо межу стійкості цеху механічної обробки і кабельних наземних ліній. Межею стійкості 1-го елемента є нижня межа середніх руйнувань – верхня межа слабких руйнувань. Таким чином, межа стійкості ΔP_{ϕ} :

- залізобетонні будівлі – 35 кПа;
- кабельні підземні лінії – 50 кПа.

Визначаємо межу стійкості об'єкту як межу стійкості найслабкішого елемента, в даному випадку – будівлі 30 кПа.

Доцільною межею підвищення стійкості прийнято вважати таке значення сейсмічної (ударної) хвилі, при якому відновлення пошкодженого об'єкту можливе в короткі терміни і економічно виправдане (зазвичай при отриманні об'єктом слабких і середніх руйнувань). З розрахунків бачимо, що при вибуху залізобетонним будівлям і кабельним наземним лініям будуть нанесені середні руйнування, які можна досить швидко усунути.

8 ЕКОЛОГІЯ

8.1 Аналіз виробничих дій заводу на довкілля.

Забруднення атмосфери.

Шкідливі речовини у вигляді пилу і газів виділяються в цехах заводу в процесі виробництва. Головні значення в забрудненні атмосфери в районі розташування заводу мають: оксид вуглеводу, діоксид сірки, пил та інше. Концентрація шкідливих речовин у вентиляційних викидах невелика, але із-за великих об'єктів вентиляційного повітря валова кількість шкідливих речовин, що поступають в атмосферу, дуже значна. Із-за невеликої висоти викиду, розосередженості і поганого очищення вони сильно забруднюють повітря на території заводу і найближчого району.

Забруднення водойм.

Загальна кількість стічних вод заводу містить:

- механічних забруднень - близько 75%
- мастила і нафтопродуктів - близько 20%
- хімічних забруднень - близько 5%.

Найсильніше хімічне забруднення водойм викликають стоки від гальванічних ванн до 40%. Стоки гальванічного цеху містять солі хрому, заліза, нікелю, цинку, міді.

Забруднення ґрунту.

Тверді відходи заводу містять: амортизаційний лом, стружки і тирса металів, деревини, пластмас, шлаки, шлами, опади і пил (відходи систем очищення повітря і стічних вод). Можливі забруднення ґрунту відходами електромонтажних робіт, хлорованим дифеніламіном (діелектрики силових конденсаторів), ртуттю. Хлоровані дифеніли зберігаються в ґрунті або на дні водойм впродовж 10-30 років, створюючи тривалий отруйний ефект. Ртуть

особливо небезпечна при попаданні у водойми, оскільки по ланцюгу харчування вона може потрапити в їжу людей. До того ж ртуть володіє кумулятивним ефектом.

Енергетичні забруднення.

Підприємство є джерелом інтенсивного шуму, який впливає на жителів примикаючих територій. Шумові характеристики приведені в таблиці 7.1 Шумові характеристики на зовнішній межі санітарно-захисної зони заводу наступні: Рівень звуку:

- максимальний – 88 дБ;
- середній – 71 дБ

8.2. Заходи і засоби по захисту довкілля від викидів

Запобігання забрудненням території

Проектом передбачені:

- утилізація твердих відходів виробництва;
- відбір і здача на дезактивацію відходів хлорованих дифенілів і апаратів, що вийшли з ладу, де вони містяться;
- централізований збір і демеркуризація газорозрядних ламп, що вийшли з ладу, і приладів, які містять ртуть.
- для уникнення розливу трансформаторного масла під трансформаторами передбачені маслоприймачики, звідки, у разі аварії, масло самопливно поступатиме в масло збірники.

Місткість маслозбірника розрахована з умови розміщення в ньому (у разі аварії) 100% масла, що міститься в одному трансформаторі, а також з урахуванням прийому 20% об'єму води від пожежогасіння з гідранта.

Боротьба з енергетичними забрудненнями

Передбачено:

- визначення для усіх цехів і ділянок санітарного класу виробництва і ширини санітарно-захисної зони;
- розташування будівель і споруд відповідно до топографії місцевості і рози вітрів (див. генплан);
- озеленення санітарно-захисної зони.

Організаційні заходи

Проектом передбачено:

- складання екологічного паспорта підприємства відповідно до вимог;
- розробка лімітів гранично допустимих викидів в атмосферу (ГДВ), гранично допустимих скидань у водойми (ГДС), лімітів на захоронення твердих побутових відходів і узгодження їх адміністрацією регіону і з регіональним природоохоронним органом;
- контроль фактичних викидів і скидань забруднюючих речовин.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

В результаті виконання дипломної роботи було здійснено розробку заходів підвищення надійності електропостачання споживачів ливарного заводу шляхом модернізації основних складових частин системи електропостачання та проведено розробку заходів підвищення якості електроенергії.

Отримані наступні результати:

1. Проведені розрахунки електричних навантажень мережі 0,4 кВ механічного цеху з визначенням розрахункового навантаження по цехах.

2. Проведено розрахунок та складено картограму електричних навантажень з вибором центру електричних навантажень та місця розташування головної понижувальної підстанції.

3. Здійснено вибір схеми електропостачання живлячої мережі та розподільчої мереж заводу та розраховано типі і переріз живлячих кабелів.

4. Проведений вибір потужності трансформаторів, а також місце розміщення цехових трансформаторних підстанцій (чотири двотрансформаторні підстанції з трансформаторами типу ТМ для живлення цехів і два трансформатори в центрі живлення типу ТДН-10000/110/10).

5. Проведені розрахунок струмів короткого замикання у низьковольтних та високовольтних мережах, згідно яких, здійснено вибір низьковольтного та високовольтного електричного обладнання а також системи релейного захисту та автоматики цехових трансформаторів.

6. Спроектовано і розраховано захист трансформаторів від струмів короткого замикання а також перевантажень з використанням повздовжнього диференціального захисту, визначено вставки реле типу РНТ-565.

7. Запропоновані методи та засоби поліпшення показників якості електроенергії в умовах виробництва. Доведено, що на даному підприємстві найдоцільніше застосування комбінованого фільтру, який є послідовно сполучений із загороджуючим фільтром в кожній фазі і ємностей, які сполучені в зірку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гельфанд Я.С. Релейная защита распределительных сетей / Я.С. Гельфанд – М.: Энергия, 1975. – 328с.
2. Герасименко А.А. Передача и распределение электрической энергии / А.А. Герасименко, В.Т. Федин – Ростов-на-Дону: Феникс, 2006.
3. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. ИПК. – М: Издательство стандартов. – 1998. – 15 с.
4. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И.В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 340 с.
5. Жежеленко И.В. Вопросы качества электроэнергии в электроустановках / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко. – Мариуполь: ПГТУ, 1996. – 173 с.
6. Жежеленко И.В. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях / И.В. Жежеленко, Ю.Л.Саенко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 261 с.
7. Жук А.К. Анализ влияния тиристорного преобразователя на питающую сеть с учетом коммутационных колебаний / А.К. Жук // Електромашинобудування та електрообладнання. – 2003. – №60. – С.39-47.
8. Запальский В.Н. Спектральный анализ работы типовых полупроводниковых преобразователей в автономных электроэнергетических системах / В.Н. Запальский // Збірник наук. праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). – Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика». – Дніпродзержинськ, ДДТУ, 2007. – С.230-231.
9. Качан Ю.Г. О количественной оценке качества электрической энергии в сетях промышленных предприятий / Ю.Г.Качан, А.В.Николенко, В.В. Кузнецов // Гірн. електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. – Вип. 84. – Дніпропетровськ, 2010. – С.9-16.

10. Милях А.Н. Схемы симметрирования однофазных нагрузок в трехфазных цепях / А.Н.Милях, А.К.Шидловский, В.Г.Кузнецов. – К.: Наук. думка, 1973. – 219 с.
11. Полилов Е.В. Экспериментальные исследования качества электрической энергии в основных цехах «АМК». Анализ гармонического состава сетевого напряжения / Е.В. Полилов, А.Б. Зеленев // Вісник КДПУ. – Випуск 3/2006(39). – Частина 1. – С.93-97.
12. Родькин Д.И. Обоснование критериев качества преобразования энергии в электромеханических системах / Д.И.Родькин, А.П.Черный, В.А. Мартыненко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ. – Вип.1. –2002. – С.81-85.
13. Солдаткина Л.А. Электрические сети и системы / Л.А. Солдаткина – М.: Энергия, 1972 г.
14. Справочник по электрическим установкам высокого напряжения; под редакцией И.А.Баумштейна, С.А. Бажанова – [3-е изд.] – М.:Энергоатомиздат, 1989 г.
15. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Электрооборудование и автоматизация / Под ред. А.А.Федорова – М.:Энергоатомиздат, 1981.
16. Шидловский А.К. Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях / А.К. Шидловский, А.Ф. Жаркин. – К.: Наук. думка, 2005. – 210 с.
17. Электрические сети энергетических систем. Учебник для техникумов / [Боровиков В.А.и др.] – [3-е изд.] – Л.: Энергия, 1977 – 392 с.
18. Energiesparen mit elektrischen Antrieben. – Frankfurt am Main: Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. – 2007. – S. 24.
19. Yaow-ming Chen Passive Filter Design Using Genetic Algorithm // IEEE Transaction On Industrial Electronics. –Vol. 50. – No. 1. – Feb 2003.