

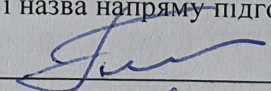
Магістерська кваліфікаційна робота

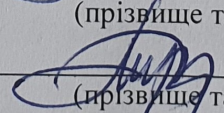
на тему:

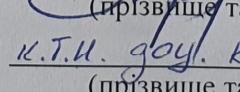
ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«ВІННИЦЬКИЙ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИЙ ЗАВОД»

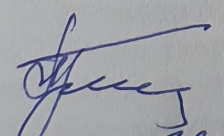
Виконав: студент 2 курсу, групи ЕСЕ-22м
141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Гиляка О.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник  Терешкевич Л.Б.
(прізвище та ініціали)

Рецензент  К.Т.Н. Гоу. Каф. ЕСС Соболюк И.В.
(прізвище та ініціали)


17.06.2024.

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

Освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр
Спеціальність– 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма – Електротехнічні системи електроспоживання

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСЕМ
д.т.н.проф. Бурбело М.Й.

„11” _____ 2024 р

ЗАВДАННЯ
на магістерську кваліфікаційну роботу
Гиляці Олександрю Юрійовичу

1. Тема роботи: Оптимізація системи електропостачання товариства з обмеженою відповідальністю “Вінницький інструментальний завод”.

керівник роботи: Терешкевич Леонід Борисович, к.т.н., професор,
затверджені наказом по ВНТУ від «11» березня 2024 року, № 81

2. Строк подання студентом роботи «10» червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: відомості про електроприймачі та електричні навантаження, планування підприємства, про джерела живлення та перспективу розвитку підприємства. Результати дослідження електричних режимів в системі електропостачання підприємства.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

1. Відомості про ТОВ «Вінницький інструментальний завод»

1.1 Історична довідка про підприємство та відомості про технологічні процеси

1.2 Відомості про електричні навантаження

2. Оптимізація системи електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод»

2.1 Визначення електричних навантажень підприємства

2.2 Розрахування оптимальної потужності трансформаторної підстанції

2.3 Розрахунок активних втрат потужності в трансформаторах ТП

2.4 Розрахунок оптимальних перерізів кабельних ліній, що живлять підприємство

2.5 Розрахунок координат оптимального місця розташування ТП підприємства

2.6 Оптимізація електричного режиму мережі підприємства шляхом установки конденсаторних батарей

3. Оптимізація несиметрії режиму в розробленій системі електропостачання

3.1 Загальна постановка задачі та зміст наукових досліджень, що виконані в роботі

3.2 Струм зворотної послідовності в магістральній лінії в залежності від фазування приєднаних ліній

3.3 Струм нульової послідовності в магістральній лінії в залежності від фазування приєднаних ліній

3.4 Струм прямої послідовності в магістральній лінії

3.5 Залежність активних втрат в магістральній лінії від фазування приєднаних чотирипровідних ліній з несиметричним навантаженням від фазування приєднаних ліній

3.6 Фактор динамічності електричного режиму та необхідність його врахування при внутрішньому симетруванні

3.7 Критерії ефективності для вирішення задачі внутрішнього симетрування та технічних обмежень, що мають бути забезпечені

3.8 Математична модель внутрішнього симетрування відгалужень з несиметричними електроприймачами при їх під'єднанні до магістральної лінії

3.9 Обчислювальний метод для аналізу розробленої математичної моделі

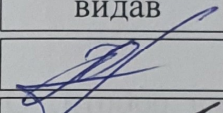
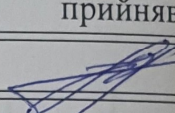
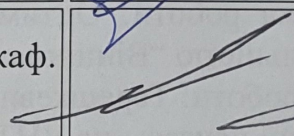
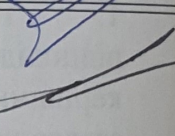
4. Економічна частина кваліфікаційної роботи

5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу:

Матеріал, необхідний для висвітлення сутності проведених досліджень впровадження розроблених методик

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання « 15 » березня 2024 року

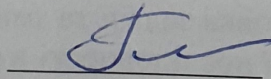
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

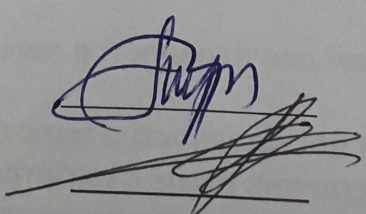
№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Відомості про ТОВ «Вінницький інструментальний завод».	20.03.2024	<i>вик</i>
2	Оптимізація системи електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод»	10.04.2024	<i>вик</i>
3	Оптимізація несиметрії режиму в розробленій системі електропостачання	25.04.2024	<i>вик</i>
4	Економічна частина роботи	15.05.2024	<i>вик</i>
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	20.05.2024	<i>вик</i>
6	Написання пояснювальної записки	10.06.2024	<i>вик</i>

Студент

Керівник магістерської роботи

Нормоконтроль


Гиляка О.Ю.


Терешкевич Л.Б.

Войтюк Ю. П.

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

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему:

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«ВІННИЦЬКИЙ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИЙ ЗАВОД»

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕСЕ-22м
141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

_____ Гиляка О.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник _____ Терешкевич Л.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

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

Освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр
Спеціальність– 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма – Електротехнічні системи електроспоживання

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСЕЕМ
д.т.н.проф. Бурбело М.Й.

„___” _____ 2024 р

ЗАВДАННЯ
на магістерську кваліфікаційну роботу
Гиляці Олександрю Юрійовичу

1. Тема роботи: Оптимізація системи електропостачання товариства з обмеженою відповідальністю “Вінницький інструментальний завод”.
керівник роботи: Терешкевич Леонід Борисович, к.т.н., професор,
затверджені наказом по ВНТУ від «11» березня 2024 року, № 81

2. Строк подання студентом роботи «10» червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: відомості про електроприймачі та електричні навантаження, планування підприємства, про джерела живлення та перспективу розвитку підприємства. Результати дослідження електричних режимів в системі електропостачання підприємства.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

1. Відомості про ТОВ «Вінницький інструментальний завод»

1.1 Історична довідка про підприємство та відомості про технологічні процеси

1.2 Відомості про електричні навантаження

2. Оптимізація системи електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод»

2.1 Визначення електричних навантажень підприємства

2.2 Розрахування оптимальної потужності трансформаторної підстанції

2.3 Розрахунок активних втрат потужності в трансформаторах ТП

2.4 Розрахунок оптимальних перерізів кабельних ліній, що живлять підприємство

2.5 Розрахунок координат оптимального місця розташування ТП підприємства

2.6 Оптимізація електричного режиму мережі підприємства шляхом установки конденсаторних батарей

3. Оптимізація несиметрії режиму в розробленій системі електропостачання

3.1 Загальна постановка задачі та зміст наукових досліджень, що виконані в роботі

3.2 Струм зворотної послідовності в магістральній лінії в залежності від фазування приєднаних ліній

3.3 Струм нульової послідовності в магістральній лінії в залежності від фазування приєднаних ліній

3.4 Струм прямої послідовності в магістральній лінії

3.5 Залежність активних втрат в магістральній лінії від фазування приєднаних чотирипровідних ліній з несиметричним навантаженням від фазування приєднаних ліній

3.6 Фактор динамічності електричного режиму та необхідність його врахування при внутрішньому симетруванні

3.7 Критерії ефективності для вирішення задачі внутрішнього симетрування та технічні обмеження, що мають бути забезпечені

3.8 Математична модель внутрішнього симетрування відгалужень з несиметричними електроприймачами при їх під'єднанні до магістральної лінії

3.9 Обчислювальний метод для аналізу розробленої математичної моделі

4. Економічна частина кваліфікаційної роботи

5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу:

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	Шулє Ю.А., к.т.н., доцент		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., зав. каф. БЖДПБ, д.п.н., професор		

7. Дата видачі завдання « 15 » березня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Відомості про ТОВ «Вінницький інструментальний завод».	20.03.2024	
	Оптимізація системи електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод»	10.04.2024	
	Оптимізація несиметрії режиму в розробленій системі електропостачання	25.04.2024	
	Економічна частина роботи	15.05.2024	
	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	20.05.2024	
	Написання пояснювальної записки	10.06.2024	

Студент

Гиляка О.Ю.

Керівник магістерської роботи

Терешкевич Л.Б.

Нормоконтроль

Войтюк Ю. П.

УДК 621.316

АНОТАЦІЯ

Гиляка О.Ю. Оптимізація системи електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Вінницький інструментальний завод». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітня програма – «Електротехнічні системи електроспоживання». – Вінниця, ВНТУ, 2024 – 108 с. Іл. 23 . Табл. 16 . Бібліогр. 39.

Використовуючи класичні оптимізаційні методи виконано вибір потужності трансформаторів, перерізів ліній електропередач 10 кВ (живильних та розподільчих мереж) в системі електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод. Критерієм ефективності такого вибору були сумарні річні приведені витрати. Для зниження активних втрат в мережах підприємства передбачена установка батарей статичних конденсаторів на збірних шинах 0,4 кВ трансформаторних підстанцій. Розрахунками обґрунтовано оптимальне місце розташування трансформаторної підстанції.

Для зниження рівня несиметрії в мережах підприємства розроблено математичний апарат розрахунку внутрішнього симетрування чотирипровідних ліній, до яких під'єднані несиметричні електроприймачі, до розподільчого пристрою, що є актуальним для підприємства.

Ключові слова: Оптимальне керування, несиметрія режиму, математична модель, критерій ефективності, втрати потужності.

ANNOTATION

Hylyaka O.I. Optimization of the power supply system of the Vinnytsia Instrument Plant Limited Liability Company. Master's qualification thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", educational program - "Electrotechnical systems of electricity consumption". – Vinnytsia, VNTU, 2022 – 108 p. Fig.: 23. Table: 16. Bibliography: 39

Using classic optimization methods, the power of transformers, cross-sections of 10 kV power lines (power and distribution networks) in the power supply system of Vinnytsia Instrument Plant LLC was selected. The criterion for the effectiveness of such a choice was the total annual reduced costs. To reduce active losses in the company's networks, the installation of batteries of static capacitors on busbars of 0.4 kV transformer substations is provided. Calculations substantiate the optimal location of the transformer substation.

To reduce the level of asymmetry in the company's networks, a mathematical apparatus was developed for calculating the internal balancing of four-wire lines, to which asymmetric electric receivers are connected, to the distribution device, which is relevant for the company.

Keywords: Optimal control, mode asymmetry, mathematical model, efficiency criterion, power loss.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ВІДОМОСТІ ПРО ТОВ «ВІННИЦЬКИЙ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИЙ ЗАВОД»	11
1.1 Історична довідка про підприємство та відомості про технологічні процеси	11
1.2 Відомості про електричні навантаження	11
1.3 Висновки до розділу 1	13
РОЗДІЛ 2. ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОВ «ВІННИЦЬКИЙ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИЙ ЗАВОД»	14
2.1 Визначення електричних навантажень підприємства	14
2.2 Розрахування оптимальної потужності трансформаторної підстанції	17
2.3 Розрахунок активних втрат потужності в трансформаторах ТП	20
2.4 Розрахунок оптимальних перерізів кабельних ліній, що живлять підприємство	22
2.5 Розрахунок координат оптимального місця розташування ТП підприємства	25
2.6 Оптимізація електричного режиму мережі підприємства шляхом установки конденсаторних батарей	30
2.7 Висновки до розділу 2	31
РОЗДІЛ 3. ОПТИМІЗАЦІЯ НЕСИМЕТРІЇ РЕЖИМУ В РОЗРОБЛЕНІЙ СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	32
3.1 Загальна постановка задачі та зміст наукових досліджень, що виконані в роботі	33
3.2 Струм зворотної послідовності в магістральній лінії в залежності від фазування приєднаних ліній	35
3.3 Струм нульової послідовності в магістральній лінії в залежності від фазування приєднаних ліній	40
3.4 Струм прямої послідовності в магістральній лінії в залеж	43

3.5 Залежність активних втрат в магістральній лінії від фазування приєднаних чотирипровідних ліній з несиметричним навантаженням від фазування приєднаних ліній	47
3.6 Фактор динамічності електричного режиму та необхідність його врахування при внутрішньому симетруванні	48
3.7 Критерії ефективності для вирішення задачі внутрішнього симетрування та технічні обмеження, що мають бути забезпечені	51
3.8 Математична модель внутрішнього симетрування відгалужень з несиметричними електроприймачами при їх під'єднанні до магістральної лінії	52
3.9 Обчислювальний метод для аналізу розробленої математичної моделі	58
3.10 Висновки до розділу 3	63
РОЗДІЛ 4. МЕТОДИ ЕКОНОМІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ ДЛЯ ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	65
4.1 Оцінка економічного ефекту	65
4.2 Техніко-економічні розрахунки з порівняння різних варіантів вирішення задачі	66
4.3 Розрахунок терміну окупності капітальних вкладень	67
4.4 Висновки до розділу 4.	68
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	69
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	69
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	69
5.1.2 Електробезпека	69
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	72
5.2.2 Виробниче освітлення	73
5.2.1 Мікроклімат	73
5.2.2 Виробниче освітлення	74
5.2.3 Виробничий шум	75

5.2.4 Виробнича вібрація	76
5.2.5 Фактори умов праці	77
5.4 Висновки до розділу 5	79
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	81
ДОДАТКИ	85
Додаток А. Технічне завдання до магістерської кваліфікаційної роботи	86
Додаток Б. Вихідні дані для виконання магістерської випускної роботи	89
Додаток В. Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	91
Додаток Г. Демонстраційний матеріал до МКР	92

ВСТУП

Актуальність теми. Діюча система електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод» потребує модернізації згідно до сучасних умов, що склалися на виробництва, із врахуванням перспективи розширення номенклатури виробництва та модернізації технологічних процесів.

Тому робота, в якій розробляється оптимальна система електропостачання із врахуванням зазначених факторів та з використанням сучасних математичних методів оптимізації і технічних засобів САПР із врахуванням реальних умов ТОВ «Вінницький інструментальний завод», слід вважати актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконана на факультеті електроенергетики та електромеханіки ВНТУ у рамках наукових досліджень, які проводяться на кафедрі ЕСЕЕМ.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є оптимізація системи електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод» та деяких параметрів її стану шляхом використання сучасних математичних методів оптимізації та інформаційних технологій для розрахунку оптимальних рішень, які стосуються оптимальної потужності трансформаторних підстанцій, оптимальних перерізів живильних та розподільних ліній підприємства, та розрахувань оптимальних потужностей конденсаторних установок із врахуванням перспективи розвитку виробництва, що дасть можливість скоротити долю енерговитрат в собівартості продукції підприємства.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі технічні задачі:

- виконати автоматизовані розрахунки оптимальних потужностей трансформаторів цехових підстанцій;
- здійснити автоматизовані розрахунки оптимальних перерізів ліній електропередач заводських мереж;
- розрахувати оптимальні потужності батарей статичних конденсаторів;
- розробити спеціальне математичне забезпечення внутрішнього симетрування чотирирівдних ліній у разі їх під'єднання до розподільного

пристрою.

Об'єкт дослідження – система електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод».

Предмет дослідження – елементи схеми та електричні режими в системі електропостачання.

Наукова новизна одержаних результатів. Підвищена ефективність системи електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод» шляхом оптимізації потужностей трансформаторів цехових ТП, перерізів кабельних ліній та місця установки трансформаторних підстанцій, а також оптимізація одного із параметрів її стану.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що реалізація отриманих рішень дозволить підвищити техніко-економічну ефективність системи електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод».

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується строгістю постановки задач, коректним застосуванням сучасних математичних методів.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення та результати магістерської кваліфікаційної роботи, що виносяться на захист, отримані автором одноособово.

Апробація результатів магістерської випускної роботи. Результати роботи на наукових конференціях не доповідались

Публікації: по роботі відсутні

Обсяг і структура магістерської випускної роботи. Робота складається із вступу, 5 розділів, списку використаних джерел і додатків, загальний обсяг роботи 109 сторінок, з яких основний зміст викладений на 88 сторінках друкованого тексту, містить 23 рисунків, 16 таблиць, список використаних джерел із 39 найменувань.

РОЗДІЛ 1.

ВІДОМОСТІ ПРО ТОВ «ВІННИЦЬКИЙ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИЙ ЗАВОД»

1.1 Історична довідка про підприємство та відомості про технологічні процеси

Вінницький інструментальний завод розпочав роботу в 1946 році як державне підприємство. В період 1958-67 роки підприємство докорінно реконструйовано та оснащено найновішими технологіями. По завершенню реконструкції обсяг виробництва продукції збільшився проти 1965 у 3,8 раза. На заводі впроваджено найновіші технологічні процеси: шліфування стружкових канавок металорізального інструменту, електрохімічне клеймування тощо. Запроваджено технологічне обладнання для термічної обробки інструменту, автоматизовано процеси консервації та упакування готової продукції.

Підприємство спеціалізується на випуску метало-різальних інструментів. В переліку основних видів продукції: метало-різальний інструмент для машинобудування – 60,7% різноманітна товарна продукція – 16%. Товари народного споживання – 23,3%.

1.2 Відомості про електричні навантаження

Дані про виробничі об'єкти підприємства наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Назва основних виробничих об'єктів інструментального заводу

№	Найменування цехів та дільниць	Рн, кВт
1	Цех №4 (ковальсько-штампувальний цех)	260
2	Цех №5 (дрібно свердлильний цех розгортки)	150
3	Дільниця №3 (термічний цех)	400

4	Дільниця №1	200
5	Дільниця №1 1	200
6	Заводоуправління	60
7	Цехи перспективного розширення підприємства	240
8	Склад №1	10
9	Склад №2	10
10	Побутове приміщення	10
11	Субабоненти	500

Генплан інструментального заводу наведений на рис. 1.1.

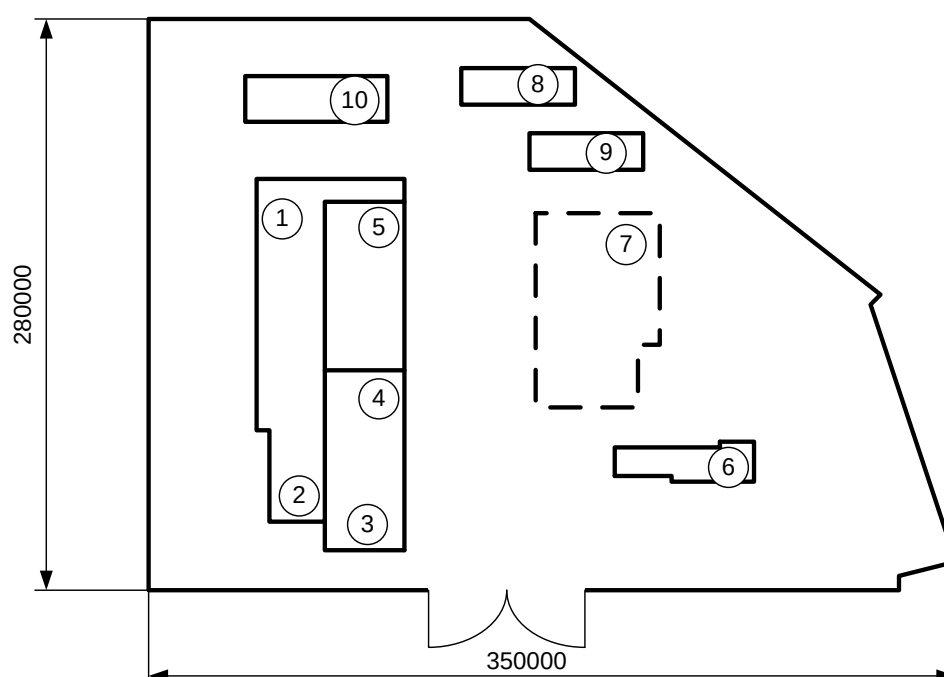


Рисунок 1.1 – Генплан ТОВ «Вінницький інструментальний завод»

За надійністю електропостачання підприємство відносяться до споживачів II категорії. Технологічне обладнання підприємства працює на електричній енергії напругою 380В промислової частоти 50 Гц.

Можливі джерела живлення:

Живлення підприємства може здійснюватись від районної трансформаторної підстанції 110/10кВ «Східна». На підстанції "Східна" встановлено два трансформатора типу ТРДН-40000Ун/Д/Д-11-11. Підстанція знаходиться на віддалі 0,65 км. Енергопостачальна компанія визначає для

підприємства значення вхідної реактивної потужності в години максимальних навантажень— 100 квар.

1.3 Висновки до розділу 1

1. Існуюча система електропостачання підприємства, не відповідає електричним навантаженням, оскільки вони суттєво змінилися за останні двадцять - тридцять років. Крім того, найближчим часом відбудеться розширення виробництва (будівництво нового корпусу, розширення номенклатури та обсягів продукції).

2. Електрообладнання, що експлуатується підприємстві, на теперішній час є морально та фізично застарілим. Це негативно позначається на техніко-економічних показниках на енергетичних показниках системи електропостачання підприємства і в кінцевому підсумку на собівартості продукції.

РОЗДІЛ 2.

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ТОВ «ВІННИЦЬКИЙ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИЙ ЗАВОД»

2.1 Визначення електричних навантажень підприємства

Виконаємо автоматизований розрахунок навантажень по всім виробничим об'єктам ТОВ «Вінницький інструментальний завод», а також для всього підприємства.

Для розрахунку загальних навантажень інструментального заводу скористаємось методом коефіцієнту попиту, який може використовуватись для розрахунку силових та освітлювальних навантажень промислових підприємств [4]. Суть методу полягає в тому, що розрахункове навантаження для групи однорідних за режимом роботи споживачів визначається за виразами:

$$P_p = K_c \cdot P_{уст}; \quad (2.1)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi; \quad (2.2)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2};$$

де P_p , Q_p , S_p - відповідно активна, реактивна і повна розрахункові потужності об'єкту.

Середні та розрахункові навантаження за методом коефіцієнта попиту визначаються так:

— активне освітлювальне розрахункове навантаження i -того цеху розраховується за формулою:

$$P_{poi} = K_{noi} \cdot F_i \cdot p_{nmi} \cdot K_{nrai}, \quad (2.1)$$

де K_{poi} — коефіцієнт попиту освітлювального навантаження для i -го виробничого об'єкту;

$P_{\text{пит}i}$ – питома густина освітлювального навантаження для i -того виробничого об'єкту, кВт/м²;

F_i – площа i -того виробничого об'єкту, м²;

$K_{\text{пра}i}$ – коефіцієнт втрат в пуско-регулюючій апаратурі i -того виробничого об'єкту;

– реактивне освітлювальне розрахункове навантаження i -того виробничого об'єкту розраховується за формулою:

$$Q_{\text{poi}} = F_i \cdot K_{\text{noi}} \cdot P_{\text{пит}i} \cdot K_{\text{пра}i} \cdot \text{tg}\varphi_{oi}, \quad (2.2)$$

де $\text{tg}\varphi_{oi}$ – коефіцієнт реактивної потужності освітлення i -того виробничого об'єкту.

– активне середнє силове навантаження i -того виробничого об'єкту розраховується за формулою:

$$P_{ci} = K_{vi} \cdot P_{\text{ном}i} + P_{\text{poi}}, \quad (2.3)$$

де $P_{\text{ном}i}$ – номінальна потужність i -того виробничого об'єкту, кВт.

K_{vi} – коефіцієнт використання для i -того виробничого об'єкту;

– реактивне середнє силове навантаження i -того виробничого об'єкту розраховується за формулою:

$$Q_{ci} = P_{\text{ном}i} \cdot K_{vi} \cdot \text{tg}\varphi_i + Q_{\text{poi}}, \quad (2.4)$$

де $\text{tg}\varphi_i$ – коефіцієнт реактивної потужності i -того виробничого об'єкту.

– повне середнє навантаження i -того виробничого об'єкту розраховується за формулою:

$$S_{ci} = \sqrt{P_{ci}^2 + Q_{ci}^2}. \quad (2.5)$$

Розрахункове активне навантаження будь-якого i -того виробничого об'єкту.

$$P_{pi} = P_{ni} \cdot K_{ni} + P_{\text{poi}}, \quad (2.6)$$

де K_{pi} – коефіцієнт попиту i -того цеху.

Розрахункове реактивне навантаження i -того виробничого об'єкту:

$$Q_{pi} = P_{ni} \cdot K_{ni} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + Q_{poi}. \quad (2.7)$$

Розрахункове повне навантаження i -того виробничого об'єкту:

$$S_{pi} = \sqrt{P_{pi}^2 + Q_{pi}^2}. \quad (2.8)$$

Розрахунковий струм i -того виробничого об'єкту:

$$I_{pi} = \frac{S_{pi}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (2.9)$$

де $U_{ном}$ – номінальна напруга, кВ.

Навантаження всіх цехів формується із навантаження силового та освітлювального, для подальших розрахунків розрахуємо середні та розрахункові навантаження цехів та підприємства в цілому:

$$P_{po\Sigma} = \sum_{i=1}^N P_{poi}; \quad (2.10)$$

$$Q_{po\Sigma} = \sum_{i=1}^N Q_{poi}; \quad (2.11)$$

$$P_{c\Sigma} = \sum_{i=1}^N P_{ci}; \quad (2.12)$$

$$Q_{c\Sigma} = \sum_{i=1}^N Q_{ci}; \quad (2.13)$$

$$P_{p\Sigma} = K_o \cdot \sum_{i=1}^N (P_{номі} \cdot K_{ni}) + P_{po\Sigma}; \quad (2.14)$$

$$Q_{p\Sigma} = K_o \cdot \sum_{i=1}^N (P_{номі} \cdot K_{ni} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i) + Q_{po\Sigma}, \quad (2.15)$$

де K_o – коефіцієнт одночасності [3], (розраховується, як відношення розрахункової потужності на шинах 10 кВ до суми розрахункових

потужностей споживачів, які підключені до шин 10 кВ цехової підстанції), K_o в розрахунках, що виконуються, прийmemo 0,95;

N – кількість виробничих підрозділів.

Повне сумарне середнє та розрахункове навантаження підприємства:

$$S_{c\Sigma} = \sqrt{P_{c\Sigma}^2 + Q_{c\Sigma}^2}; \quad (2.16)$$

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2}. \quad (2.17)$$

Сумарний струм:

$$I_{p\Sigma} = \frac{S_{p\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}. \quad (2.18)$$

Питома густина навантаження i -того виробничого об'єкту:

$$\rho_i = \frac{S_{pi}}{F_i}. \quad (2.19)$$

Питома густина навантаження по підприємству в цілому:

$$\rho_{\Sigma} = \frac{S_{p\Sigma}}{F_{\Sigma}}. \quad (2.20)$$

Результати автоматизованого розрахунку навантажень ТОВ «Вінницький інструментальний завод» та всіх його виробничих підрозділів зведені до електронної таблиці (рис. 2.1).

2.2 Розрахування оптимальної потужності трансформаторної підстанції

Розрахунок виконаємо, використовуючи методи дослідження операцій. Критерієм ефективності для вирішення оптимізаційної задачі прийmemo річні приведені затрати на підстанцію.

Враховуючи, що ТОВ «Вінницький інструментальний завод» відноситься до другої категорії за надійністю електропостачання, для його живлення будемо вибирати двотрансформаторну підстанцію [4].

Оптимальну потужність трансформаторної підстанції від якої живиться підприємство, розрахуємо використовуючи дискретну математичну модель. Керованою змінною в такій моделі є потужність трансформаторів – S_T . Вибір оптимальної потужності трансформаторів ТП виконаємо із множини стандартних, що випускаються промисловістю.

$$\left\{ \begin{array}{l} 3(S_T) = (E_e + E_a) \cdot k_{ТП}(S_T, k_T) + \left[\Delta P_{xx}(S_T) \cdot k_T + \Delta P_{кз}(S_T) \cdot \frac{S_{ТП}^2}{S_T^2 \cdot k_T} \right] \cdot t \cdot \tau \rightarrow \min_{S_T \in S_{СТ}} \\ S_T \cdot k_T \cdot k_H \geq S_{ТП\text{см}} \\ k_T > 1 \Rightarrow S_T \cdot k_{па} \geq S_{ТПр} \cdot k_{нпа} \\ S_T \in S_{СТ} \end{array} \right. \quad (2.21)$$

де $S_{СТ}$ – множина стандартних потужностей трансформаторів;

E_e – коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

E_a – коефіцієнт відрахувань на амортизацію;

$S_{ТПр}$ – розрахункова потужність трансформаторної підстанції;

$S_{ТП\text{см}}$ – середня потужність трансформаторної підстанції;

$k_{ТП}(S_T, k_T)$ – капіталовкладення в ТП, що залежить від кількості вибраних трансформаторів та їх потужностей.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
						U= 0,38			Ko= 0,95												
№	Найменування цехів	Дані сили					Світло							Середні навантаження			Розрах. Нав.				ρ кВА/м ²
		Рн кВт	cos	tg	Кп	Кв	Площа м ²	Ксо	Рпит кВт/м ²	Кпра	tgφ0	Qмо квар	Рро кВт	Рс кВт	Qс квар	Sc кВА	Рр кВт	Qр квар	Sp кВА	Ip, А	
1	Цех №4 (ковально-штампувальний цех)	100	0,7	1,02	0,6	0,2	400,00	0,80	0,016	1,20	0,48	2,95	6,14	26,14	23,35	35,06	66,14	64,16	92,15	140,01	0,2304
2	Цех №5 (дрібно свердильний цех розгортки)	120	0,65	1,17	0,8	0,4	370,00	0,85	0,015	1,10	0,48	2,49	5,19	53,19	58,61	79,15	101,19	114,73	152,98	232,42	0,4134
3	Дільниця №3 (термічний цех)	120	0,8	0,75	0,75	0,5	200,00	0,80	0,016	1,10	0,48	1,35	2,82	62,82	46,35	78,07	92,82	68,85	115,57	175,58	0,5778
4	Дільниця №1	100	0,9	0,48	0,8	0,35	200,00	0,85	0,015	1,10	0,48	1,35	2,81	37,81	18,30	42,00	82,81	40,09	92,00	139,78	0,46
5	Дільниця №11	80	0,8	0,75	0,8	0,55	320,00	0,85	0,017	1,10	0,48	2,44	5,09	49,09	35,44	60,54	69,09	50,44	85,54	129,97	0,2673
6	Заводоуправління	60	0,85	0,62	0,65	0,5	200,00	0,70	0,018	1,10	0,48	1,33	2,77	32,77	19,92	38,35	41,77	25,50	48,94	74,36	0,2447
7	Цехи перспективного розширення	240	0,8	0,75	0,7	0,45	520,00	0,90	0,017	1,10	0,48	4,20	8,75	116,75	85,20	144,53	176,75	130,20	219,53	333,54	0,4222
8	Склад №1	10	0,8	0,75	0,7	0,7	200,00	0,80	0,019	1,10	0,48	1,61	3,34	10,34	6,86	12,41	10,34	6,86	12,41	18,85	0,062
9	Склад №2	10	0,7	1,02	0,85	0,3	200,00	0,85	0,017	1,10	0,48	1,53	3,18	6,18	4,59	7,70	11,68	10,20	15,50	23,56	0,0775
10	Побутове приміщення	10	0,85	0,62	0,9	0,55	250,00	0,85	0,014	1,10	0,48	1,57	3,27	8,77	4,98	10,09	12,27	7,15	14,20	21,58	0,0568
11	Субабоненти	450	0,8	0,75	0,7	0,45	500,00	0,90	0,019	1,10	0,48	4,51	9,41	211,91	156,39	263,37	324,41	240,76	403,99	613,80	0,808
Всього по підприємству		1300				0,43	3363,00					25,35	52,81	615,81	460,01	768,66	942,49	722,28	1187,43	1804,11	0,3531

Рисунок 2.1 – Розрахунок навантажень ТОВ «Вінницький інструментальний завод»

Критерієм ефективності математичної моделі, що використовується для розрахунку, прийнято річні приведені затрати. Оптимальна потужність трансформаторів вибирається із підмножини допустимих за навантаженням, яка в свою чергу формується із існуючих стандартних потужностей трансформаторів – Ст.

За отриманими результатами розрахунків на підприємстві встановимо комплектну двотрансформаторну підстанцію, потужності трансформаторів на якій – 1600 кВА.

2.3 Розрахунок активних втрат потужності в трансформаторах ТП

Робота трансформаторів супроводжується втратами активної потужності в їх обмотках та на намагнічування осердя. Втрати потужності в трансформаторах мають бути враховані при виборі перерізів живильних провідників

Аналітичний опис втрати активної потужності в трансформаторах має вигляд [5]:

$$\Delta P_{TP} = n \cdot \Delta P_{xx} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{kз} \cdot \left(\frac{S_p}{S_{ном.тр}} \right)^2, \quad (2.22)$$

де n - кількість трансформаторів в ТП;

ΔP_{TP} - втрати активної потужності в тарнсформаторах, кВт;

ΔP_{xx} - потужність холостого ходу трансформатора, кВт;

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

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Вибір оптимальної потужності ЦТП за мінімум затрат														
2	Економічні характеристики														
3	Питома вартість втрат, грн/кВт										Bo =	560,895			
4	Коефіцієнт ефективності капітоловкладень										Ee =	0,1			
5	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію										Ea =	0,036			
6						ТП1									
7	Дані нормального режиму														
8	Розрахункова потужність ТП, кВА										Sp=	1804,11			
9	Середня потужність ТП, кВА										Sc=	768,66			
10	Кількість трансформаторів										кт=	2			
11	Допустимий коефіцієнт навантаження в н. режимі										Kn=	1			
12	Дані післяаварійного режиму														
13	Допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі										Kпа =	1,3			
14	Доля навантаження в післяаварійному режимі										Knпа =	0,8			
15															
16	*	Ст кВА	ΔРкз кВт	ΔРхх кВт	Ктп, тис.грн.	Е*К, тис.грн.	ΔРзм кВт	ΔРпс кВт	ΔР кВт	Вв, тис.грн.	З, тис.грн	Х	кт*кн*Ст ≥Sc	кпа*Ст≥ кнпа*Sp	*
17		63	1,28	0,24	95,78	13,02608	524,8376	0,48	525,3176	294,648		-	-	-	
18		100	1,97	0,33	101,71	13,83256	320,5991	0,66	321,2591	180,1926		-	-	-	
19		160	3,1	0,51	109,45	14,8852	197,0687	1,02	198,0887	111,107		-	-	-	
20		250	4,2	0,74	119,46	16,24656	109,3617	1,48	110,8417	62,17056		-	-	-	
21		400	5,9	0,95	143,38	19,49968	60,01061	1,9	61,91061	34,72535		-	+	-	
22		630	8,5	1,31	159,53	21,69608	34,85249	2,62	37,47249	21,01813		-	+	-	
23		1000	10,5	2,1	188,23	25,59928	17,08777	4,2	21,28777	11,9402		-	+	-	
24	V	1600	18	2,8	234	31,824	11,4427	5,6	17,0427	9,559166	41,38317	1600	+	+	V
25		2500	23,5	3,85	267,73	36,41128	6,119048	7,7	13,81905	7,751035	44,16232	2500	+	+	
26															
27	Мінімальні затрати, грн									Зmin=	41,38317				
28	Оптимальна потужність трансформатора, кВА									Ст*=	1600				
29	Оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора									кз*=	0,563784				

Рисунок 2.2 – Вибір оптимальної потужності ТП

$S_{ном.тр}$ - номінальна потужність трансформатора ТП, кВА;

S_p - повне розрахункове навантаження на ТП, кВА.

Одночасно мають місце і втрати реактивної потужності. Їм відповідає струм, який в свою чергу при протіканні по лініям буде викликати їх додатковий нагрівання, що треба враховувати. Втрати реактивної потужності [5]:

$$\Delta Q_{TP} = n \cdot \frac{I_{xx}}{100} \cdot S_{ном.тр} + \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{кз}}{100} \cdot \frac{S_p^2}{S_{ном.тр}}, \quad (2.23)$$

де ΔQ_{TP} - втрати реактивної потужності в трансформаторах, квар;

I_{xx} - струм холостого ходу трансформатора, А;

$U_{кз}$ - напруга короткого замикання, % від номінальної.

Розрахуємо втрати потужності в трансформаторах, які будуть враховані при виборі перерізів ліній живлення. Отримані результати розрахунку втрат потужності представлені на рис. 2.6.

F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
$\Delta R_{кз},$ кВТ	$I_{xx}, \%$	$U_{кз}, \%$	$P_p, \text{кВТ}$	$Q_p, \text{квар}$	$S_p, \text{кВА}$	$\Delta R_{тр},$ кВТ	$\Delta Q_{тр},$ квар	$\Delta S_{тр},$ кВА	$P, \text{кВТ}$	$Q, \text{квар}$
18	1,3	5,5	942,49	722,28	1823,98	17,29614	98,78115	100,284	959,7861	821,0611

Рисунок 2.6 – Результати розрахунку втрат потужності в трансформаторах ТП

2.4 Розрахунок оптимальних перерізів кабельних ліній, що живлять підприємство

Керуючись тим, що ТОВ «Вінницький інструментальний завод» відноситься до другої категорії за надійністю електропостачання, передбачимо його живлення двома лініями електропередач. Конструктивно лінії живлення підприємства мають бути кабельними тому, що ТОВ «Вінницький

інструментальний завод» знаходиться в межах міста. Враховуючи територіальне розміщення підприємства передбачимо його живлення від районної трансформаторної підстанції 110/10 кВ «Східна»

За своєю сутністю задача вибору перерізу кабельної лінії є оптимізаційною (існує множина можливих технічних рішень) і тому її доцільно вирішувати також із врахуванням цього.

Для розрахунків використаємо Excel таблиці. Самі розрахунки проведемо у відповідності до оптимізаційної математичної моделі, яка забезпечує врахування всіх вимог нормативних документів.

$$\left\{ \begin{array}{l} Z(x) = \left[(E_e + E_a) \cdot K_0(x) + 3 \cdot I_L^2 \cdot r_0(x) \cdot t \cdot \tau \right] \cdot L \cdot k_L \rightarrow \min_{x \in X_{cm}} \\ x \geq x_{\partial on} \equiv k_{\partial on} \cdot I_{\partial on}(x) \geq I_L \\ x \geq x_{\partial on} \equiv k_{na} \cdot I_{\partial on}(x) \geq I_L \cdot k_L \cdot k_{нна} \\ \Delta U_n(x) \leq \Delta U_{\partial on} \\ \Delta U_{na}(x) \leq \Delta U_{\partial on} \\ x \geq x_{кз} = \frac{I_{кз} \cdot \sqrt{t_n}}{C} \\ x \in X_{cm} \end{array} \right. \quad (2.24)$$

де $Z(X)$ - експлуатаційні витрати в кабельних лініях перерізом X ;

$k_0(x)$ – питома вартість кабельних ліній (залежить від перерізу і кількості ліній);

$B_v(x)$ - річна вартість втрат електричної енергії в кабельних лініях, переріз яких X ;

I_L – струм лінії, що відповідає розрахунковій потужності;

$I_{\partial on}(x)$ – допустимий струм для відповідного перерізу згідно ПУЕ [3];

$\Delta U_n(x)$ – втрати напруги в лінії перерізом X , що відповідають нормальному режиму роботи;

$\Delta U_{na}(x)$ – втрати напруги в лінії перерізом X , що відповідають післяаварійному режиму роботи;

ΔU_{don} – допустимі втрати напруги, яким відповідають допустимі відхилення напруги [8];

$K_{don}(x)$ - коефіцієнт допустимого навантаження [3];

$k_{доп}$ – коефіцієнт допустимого навантаження, $k_{доп} = k_{п} \cdot k_{с}$;

$k_{п}$ – коефіцієнт прокладки, $k_{п}=1$ [3], що відповідає випадку, за умови живлення двокабельною лінією коли кабелі прокладені в різних траншеях (по одному кабелю в траншеї);

$k_{с}$ – коефіцієнт середовища;

k_{na} – максимальний допустимий коефіцієнт навантаження кабельних ліній при їх прокладці у землі в післяаварійному режимі, приймаємо k_{na} - 1,25 для найважчих умов перевантаження і при його тривалості 6 год. і $K_3 = 0,6$.

$x_{кз}$ – мінімальний переріз лінії за умовою термічної дії струмів к. з.;

t_n – приведений час к. з. (с) $\approx 1,5$ с;

$I_{кз}$ – струм к. з. на початку лінії;

C – тепловий коефіцієнт $\frac{A \cdot \sqrt{c}}{мм^2}$ (згідно [6], для кабелів 10кВ з

алюмінієвими жилами коефіцієнт $C = 90$).

Цільовою функцією математичної моделі річні приведені затрати, а множину можливих рішень створює множина всіх стандартних перерізів кабелів 10 кВ.

Керованою змінною – X , числове значення якої потрібно розрахувати, є переріз кабелів ($мм^2$).

Математична модель (2.24) потребує знаходження мінімуму річних приведених витрат. При цьому вибрані перерізи кабельних ліній забезпечують всі встановлені вимоги як в нормальних, так і післяаварійних режимах. Крім цього математична модель контролює втрати напруги в лініях що будуть як в

нормальних, так і в післяаварійних режимах, а також термічну дію струмів короткого замикання, що забезпечується відповідними обмеженнями.

На рис. 2.7 наведені результати розрахунків перерізів кабельних зовнішніх ліній за критерієм мінімуму річних приведених затрат.

2.5 Розрахунок координат оптимального місця розташування ТП підприємства

Від місця розташування трансформаторної підстанції залежать перетоки потужності в мережах підприємства і, як наслідок, активні втрати в розподільній мережі 0,4 кВ. Вибір місця розташування трансформаторної підстанції є також оптимізаційною задачею, оскільки є безліч можливих варіантів. Для вирішення цієї оптимізаційної задачі скористаємось відомою методикою розрахунку центра електричних навантажень, яка дозволяє прийняти оптимальне рішення. Місце оптимального розміщення ТП при якому забезпечується мінімальні активні втрати називається центр електричних навантажень (ЦЕН). Для практичних розрахунків в проектній практиці використовується методика розрахунку ЦЕН за якою попередньо будується картограма електричних навантажень

Картограма електричних навантажень являє собою генплан підприємства, де на контурах окремих об'єктів підприємства у вигляді кіл наносяться в певному масштабі їх силове та освітлювальне навантаження. Радіуси кіл розраховуються за такою формулою [2]:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_{pi}}{\pi m}}, \quad (2.25)$$

де- m – вибраний масштаб картограми навантажень, $\frac{\text{кВт}}{\text{мм}^2}$, $m=0,1$;

P_{pi} – розрахункова активна потужність i -го виробничого об'єкта;

$\pi=3,14$.

Вибір оптимального перерізу зовнішньої живлячої КЛ																			
Економічні характеристики																			
Питома вартість втрат, грн/кВт															Bo=		560,895		
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень															Ee=		0,1		
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію															Ea=		0,04		
Дані нормального режиму																			
Напруга, кВ															U =		10		
Активна розрахункова потужність споживача, кВт															P =		959,7861		
Реактивна розрахункова отужність споживача, кВАр															Q =		821,0611		
Розрахунковий струм окремого кабелю, А															Ip =		34,30		
Коефіцієнт допустимого навантаження															Kдоп =		1,00		
Допустима втрата напруги в КЛ, %															dUдоп =		5		
Кількість кабелів															k =		2		
Довжина лінії, км															L =		2,5		
Дані аварійного режиму																			
Струм КЗ на початку лінії, кА															Ikз =		3,0386856		
Приведений час КЗ, с															tn =		1,5		
Тепловий коефіцієнт C, $[A \cdot c^{(1/2)}] / \text{мм}^2$															C =		90		
Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм^2															Fкз =		41,35		
Максимально допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі															Kпа =		1,25		
Доля навантаження в післяаварійному режимі															Kпа =		0,8		
Допустима втрата напруги в КЛ, %															dUпадоп =		5		
	F, мм^2	Ro, Ом/км	Xo, Ом/км	K0, т.грн/км	Iдоп, А	dUn, %	dUpa, %	dP, кВт	K, т.грн	E*K, т.грн	Bв, т.грн	З, т.грн	X	Kдоп*Iдоп оп >= Ip	n*Iдоп >= Kпа*k*	dUn <= dUдоп	dUpa <= dUпадоп	F >= Fкз	
	10	3,1	0,122	9,5381	65	3,84	6,15	54,71	47,69	6,68	30,68	-	-----	+	+	+	-	-	
	16	1,94	0,113	13,784	75	2,44	3,91	34,24	68,92	9,65	19,20	-	-----	+	+	+	+	-	
	25	1,24	0,099	19,854	90	1,59	2,54	21,88	99,27	13,90	12,27	-	-----	+	+	+	+	-	
	35	0,89	0,095	25,953	115	1,17	1,86	15,71	129,77	18,17	8,81	-	-----	+	+	+	+	-	
V	50	0,62	0,09	36,927	140	0,84	1,34	10,94	184,64	25,85	6,14	31,99	50	+	+	+	+	+	
	70	0,443	0,086	50,501	165	0,62	0,99	7,82	252,51	35,35	4,38	39,74	70	+	+	+	+	+	
	95	0,326	0,083	65,451	205	0,48	0,76	5,75	327,26	45,82	3,23	49,04	95	+	+	+	+	+	
	120	0,258	0,081	82,823	240	0,39	0,63	4,55	414,12	57,98	2,55	60,53	120	+	+	+	+	+	
	150	0,206	0,079	102,11	275	0,33	0,53	3,64	510,55	71,48	2,04	73,52	150	+	+	+	+	+	
	185	0,167	0,077	137,48	310	0,28	0,45	2,95	687,40	96,24	1,65	97,89	185	+	+	+	+	+	
	Мінімальні затрати, тис.грн										Змін		31,99						
	Оптимальний переріз КЛ, мм^2										Хопт		50						

Рисунок 2.7 – Результати розрахунку оптимального перерізу КЛ – 10 кВ від РТП «Східна» до підприємства

Сектор кола, що зображає освітлювальне навантаження, розраховується за формулою:

$$\alpha_{осв\ i} = \frac{P_{po} * 360}{P_{po} + P_{pi}}, \quad (2.26)$$

де P_{po} - розрахункова активна потужність освітлювального навантаження деякого виробничого об'єкта, кВт;

Вся інформація, що стосується розрахунку картограми навантажень ТОВ «Вінницький інструментальний завод» та ЦЕН, зведені в таблиці 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 – Розрахунок картограми активних навантажень

№ за планом	Найменування об'єктів підприємства	$P_{p\Sigma}$, кВт	P_{po} , кВт	R,мм	$\alpha_{осв}$, град
1	Цех №4 (ковальсько-штампувальний цех)	66,14	6,14	20,5	33,4
2	Цех №5 (дрібно свердлильний цех розгортки)	101,2	5,19	25,32	18,46
3	Дільниця №3 (термічний цех)	92,82	2,82	23,2	10,9
4	Дільниця №1	82,81	2,81	23	12,2
5	Дільниця №11	69,09	5,09	21	26,6
6	Заводоуправління	41,77	2,77	16,3	28,3
7	Цехи перспективного розширення підприємства	176,75	8,75	33,4	17,8
8	Склад №1	10,34	3,34	8	116,2
9	Склад №2	11,68	3,18	8,6	98
10	Побутове приміщення	12,27	3,27	8,4	96,8
11	Субабоненти	—	—	—	—

Таблиця 2.2 – Розрахунок ЦЕН підприємства

№ за планом	Об'єкти підприємства	$P_{роз} + P_{ос.}$ кВт	X, мм	Y, мм	$P_{роз} * X$, кВт*мм	$P_{роз} * Y$, кВт*мм
1	Цех №4 (ковальсько-штампувальний цех)	66,14	24	52	1587,4	3439,3
2	Цех №5 (дрібно свердлильний цех розгортки)	101,2	24	32	2428,8	3238,4
3	Дільниця №3 (термічний цех)	92,82	37	17	3434,4	1577,9
4	Дільниця №1	82,81	37	29	3064	2401,5
5	Дільниця №11	69,09	37	52	2556,3	3592,7
6	Заводоуправління	41,77	95	22	3968,2	918,9
7	Цехи перспективного розширення підприємства	176,75	79	52	13963,3	9191
8	Склад №1	10,34	65	85	672,1	878,9
9	Склад №2	11,68	77	77	899,4	899,4
10	Побутове приміщення	12,27	27	86	331,3	1055,2
11	Субабоненти					
Всього по підприємству		664,9			32905,2	27193,2

ЦЕН підприємства для обґрунтування місця розташування ТП розраховується за формулами:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^{10} (P_{p,i} + P_{p,o,i}) X_i}{\sum_{i=1}^{10} (P_{p,i} + P_{p,o,i})}; \quad (2.27)$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^{10} (P_{p,i} + P_{p.o,i}) Y_i}{\sum_{i=1}^{10} (P_{p,i} + P_{p.o,i})}, \quad (2.28)$$

де X_i, Y_i – координати центру навантажень i -го виробничого об'єкту.

Розрахунок ЦЕН, виконано в масштабі креслення формату А4 і його результати зведені до таблиці 2.2.. При розрахунках початок відліку прийнято суміщеним з нижнім лівим кутом плану підприємства, рис. 2.1.

Координати ЦЕН підприємства (оптимального місця розташування ТП, від якої живиться підприємство), визначені за наведеними формулами (27, 28), становлять:

$$X_0 = \frac{32905,2}{664,9} = 49,5 \text{ мм}; \quad Y_0 = \frac{27193,2}{664,9} = 40,9 \text{ мм}.$$

Результати проведених розрахунків ЦЕН наведені на рис. 2.11

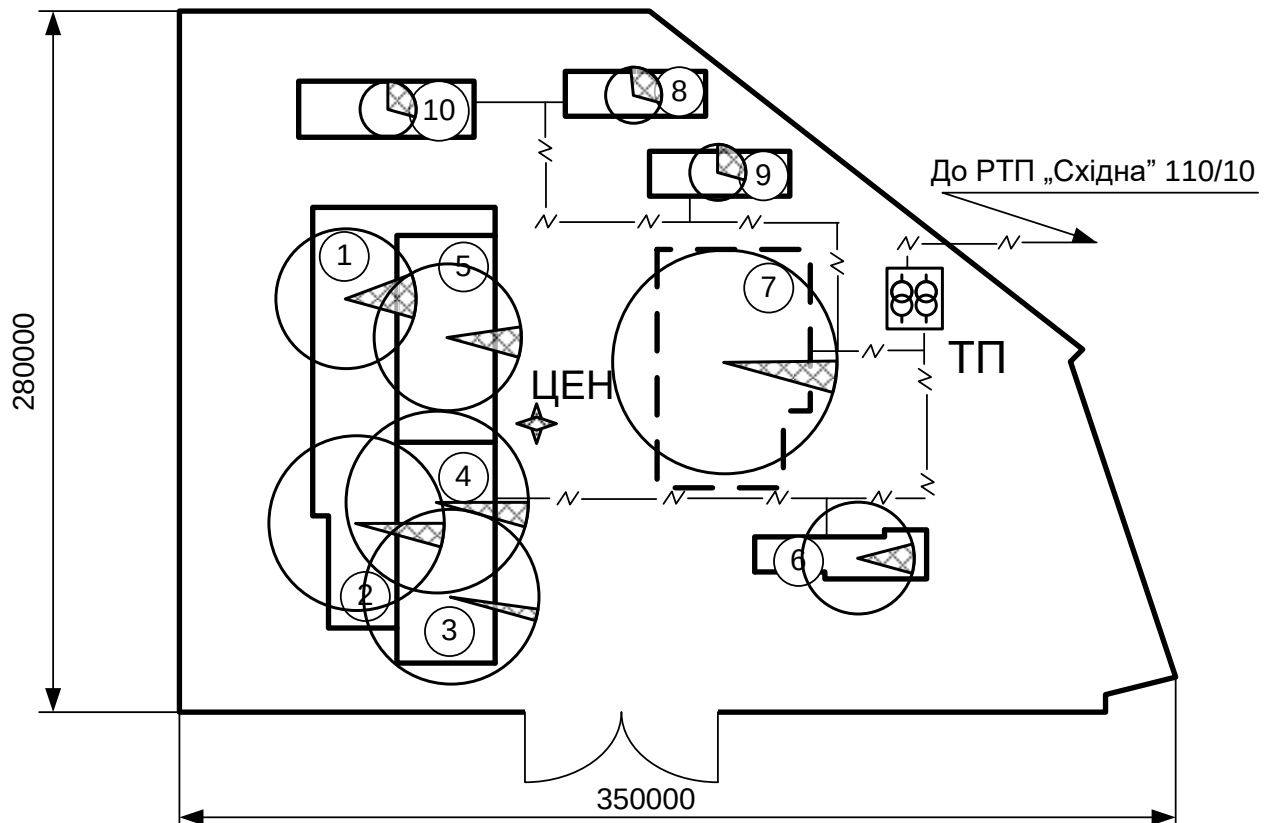


Рисунок 2.11 – ЦЕН та мережі підприємства

Установити ТП безпосередньо в ЦЕН неможливо, оскільки таке її розташування створює певні перешкоди. Прийняте місце установки ТП показано на рис. 2.11. Воно зміщене в сторону джерела живлення.

2.6 Оптимізація електричного режиму мережі підприємства шляхом установки конденсаторних батарей

Встановлення конденсаторних батарей зменшує реактивну потужність в мережах 10 кВ та в трансформаторах в результаті чого зменшуються активні втрати [9]. Для умов ТОВ «Вінницький інструментальний завод» встановити конденсаторні батареї можна виконати лише в розподільному пристрої 0,4 кВ ТП.

Розраховуючи потужності конденсаторних батарей до установки, врахуємо вимоги енергопостачальної компанії щодо споживання реактивної потужності із системи, що становлять 100 квар для годин максимальних навантажень – Q_e , $Q_e = 100$ квар.

Вимога буде забезпеченою за умови якщо установити конденсаторні батареї потужністю [1]:

$$Q_{ку} \geq Q_m - Q_e = 821,06 - 100 = 721,06 \text{ квар},$$

де Q_m – максимальна реактивна потужність, що споживається підприємством, враховуючи втрати потужності в трансформаторах ТП.

Трансформаторна підстанція підприємства має два трансформатора, і тому до кожного трансформатора підключимо конденсаторну установку потужністю 360 квар.

Виберемо до установки комплектні керовані конденсаторні установки, що під'єднуються до кожної секції збірних шин:

ККУ-0,4-300/12-25-21УЗ потужністю 300 квар. Установка має 12 секцій керування по 25 квар.

ККУ-0,4-60/12-5-21УЗ потужністю 60 квар. Установка має по 12 секцій керування по 5 квар.

2.7 Висновки до розділу 2

1. В системі електропостачання підприємства доцільно встановити комплектну двотрансформаторну підстанцію з трансформаторами потужністю 1600 кВА.

2. Економічно доцільним здійснити живлення підприємства двома кабельними лініями від РТП «СХІДНА» – ТП підприємства 2ААБ(3×50).

3. Для зниження втрат активної потужності в лініях 10 кВ і в трансформаторах до кожної секції збірних шин 0,4 кВ ТП слід під'єднати такі керовані конденсаторні установки:

– ККУ-0,4-300/12-25-21УЗ потужністю 300 квар, яка має 12 секцій керування по 25 квар.

– ККУ-0,4-60/12-5-21УЗ потужністю 60 квар, яка має 12 секцій керування по 5 квар.

Конденсаторні потужності одночасно забезпечують виконання вимог енергосистеми що до компенсації реактивних навантажень на підприємстві.

РОЗДІЛ 3.

ОПТИМІЗАЦІЯ НЕСИМЕТРІЇ РЕЖИМУ В РОЗРОБЛЕНІЙ СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Стан розробленої системи електропостачання характеризується параметрами електричного режиму, які визначаються технологією виробництва, а також характеристиками технологічного обладнання. Серед технологічного обладнання можна виділити обладнання несиметричного виконання, що під'єднано на чотирипровідної електричної мережі. Таке обладнання експлуатується на ТОВ «Вінницький інструментальний завод». Його робота позначається на електричних режимах в системі електропостачання. Має місце несиметрія електричного режиму, що негативно впливає на показники якості та техніко-економічні характеристики. Зменшити негативні впливи на систему електропостачання можна способами, що не потребують суттєвих капітальних витрат [22]. До таких способів відноситься внутрішнє симетрування ліній, що живлять електроприймачі несиметричного виконання. Його сутність полягає в тому, щоб здійснити таке фазування ліній з однофазними електроприймачами при їх під'єднанні до магістралі якому відповідає мінімальний рівень несиметрії. Такий розподіл для чотирипровідних мереж має певні особливості. Відомих наукових робіт з цього приводу недостатньо для широкого його впровадження в реальних системах електропостачання.

В даному розділі роботи розглядається випадок під'єднання групи чотирипровідних ліній, що живлять однофазні електроприймачі, до вузла електричної мережі. Впровадження отриманих в роботі результатів дають ефект від зменшення несиметрії режиму в магістральній лінії, що живить зазначений вузол.

3.1 Загальна постановка задачі та зміст наукових досліджень, що виконані в роботі

Несиметрія режимів в магістральних ділянках промислових мереж формується накладанням несиметричних режимів, що створені в окремих відгалуженнях, які під'єднані до цієї магістралі, і визначається двома складовими: зворотної та нульової послідовностей.

Математичну постановку задачі внутрішнього симетрування групи ліній з однофазними навантаженнями можна виконати провівши наукові дослідження, спрямовані на отримання знань з таких питань:

- яка залежність режиму зворотної послідовності від зміни варіанту під'єднання до збірних шин ТП ліній з однофазними навантаженнями?
- те саме, режиму нульової послідовності?
- те саме, режиму прямої послідовності?
- те саме, сумарних додаткових втрат активної потужності від несиметрії режиму?
- як провести обробку статистичного матеріалу з метою оцінки отриманого результату на деякому інтервалі часу.

Для вирішення комплексу зазначених питань проведені дослідження, результати яких представлені в даному розділі.

Для аналізу несиметричних режимів використовується метод симетричних складових. Його сутність полягає в тому, що будь-який несиметричний режим можна представити у вигляді суми трьох симетричних систем (симетричних складових). Симетричні складові відрізняються одна від одної порядком чергування фаз і називаються системами прямої, зворотної і нульової послідовності, рисунок 3.1.

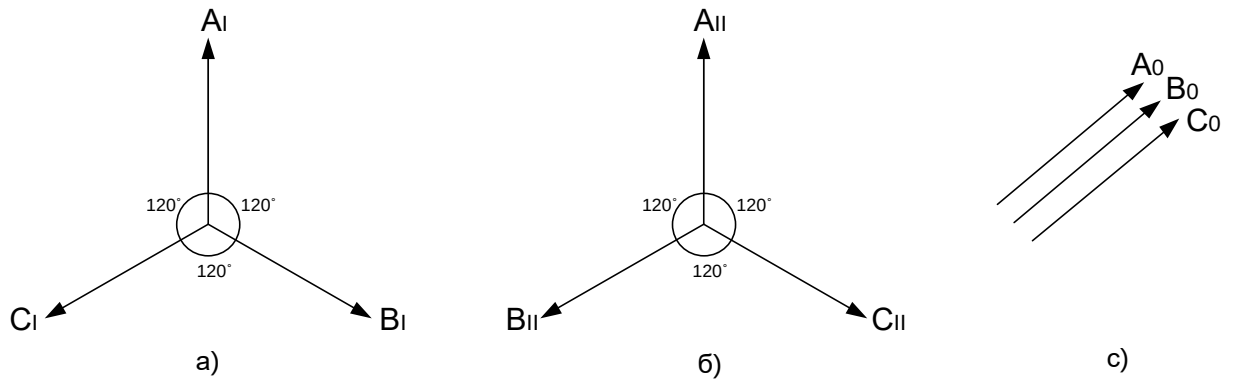


Рисунок 3.1 – Системи прямої (а), зворотної (б) і нульової (с) послідовності

Система прямої послідовності має такий порядок чергування фаз $A_I - B_I - C_I$ (в напрямку обертання трифазної системи), система зворотної послідовності – зворотний порядок чергування фаз $A_{II} - C_{II} - B_{II}$, а система нульової послідовності $A_0 - B_0 - C_0$ складається із трьох синфазних векторів.

Для будь-якої несиметричної системи векторних величин $\dot{A}, \dot{B}, \dot{C}$ можна розрахувати симетричні складові – прямої, зворотної і нульової послідовності

1) Складові нульової послідовності:

$$\dot{A}_0 = \frac{1}{3} \cdot (\dot{A} + \dot{B} + \dot{C}); \quad \dot{B}_0 = \dot{C}_0 = \dot{A}_0.$$

2) Складові прямої послідовності:

$$\dot{A}_I = \frac{1}{3} \cdot (\dot{A} + a \cdot \dot{B} + a^2 \cdot \dot{C}); \quad \dot{B}_I = a^2 \cdot \dot{A}_I; \quad \dot{C}_I = a \cdot \dot{A}_I,$$

де a – оператор трифазної системи $a = e^{j120^\circ} = \cos 120^\circ + j \sin 120^\circ$.

3) Складові зворотної послідовності:

$$\dot{A}_{II} = \frac{1}{3} \cdot (\dot{A} + a^2 \cdot \dot{B} + a \cdot \dot{C}); \quad \dot{B}_{II} = a^2 \cdot \dot{A}_{II}; \quad \dot{C}_{II} = a \cdot \dot{A}_{II}.$$

Використання методу симетричних складових є доцільним для аналізу несиметричних режимів в симетричних мережах [12,25].

Формування сумарних струмів окремих послідовностей (прямої – $\dot{I}_{I\Sigma}$, зворотної – $\dot{I}_{II\Sigma}$ та нульової – $\dot{I}_{0\Sigma}$) в магістральній лінії через відповідні складові струмів окремих приєднань – $\dot{I}_{I_i}$, $\dot{I}_{II_i}$, $\dot{I}_{0_i}$:

$$\begin{aligned}\dot{I}_{I\Sigma} &= \sum_{i=1}^n \dot{I}_{I_i}; \\ \dot{I}_{II\Sigma} &= \sum_{i=1}^n \dot{I}_{II_i}; \\ \dot{I}_{0\Sigma} &= \sum_{i=1}^n \dot{I}_{0_i}.\end{aligned}\tag{3.1}$$

Струми $\dot{I}_{II\Sigma}$ та $\dot{I}_{0\Sigma}$ характеризують несиметрію режиму в лінії живлення. Їх числове значення можна змінювати впливаючи на кожну складову $\dot{I}_{II_i}$ та $\dot{I}_{0_i}$.

3.2 Струм зворотної послідовності в магістральній лінії в залежності від фазування приєднаних ліній

Розглянемо залежність струму зворотної послідовності в магістральній чотирипровідній лінії від фазування під'єднаної лінії з несиметричним навантаженням. Тут і далі під фазуванням чотирипровідної лінії з несиметричним навантаженням будемо розуміти той або інший варіант під'єднання її фазних жил до фазних напруг магістральної лінії. Нехай до фази А магістральної лінії під'єднане навантаження із сумарним струмом $\dot{I}_1$, до фази В – $\dot{I}_2$ і до фази С – $\dot{I}_3$. Або якщо позначити провідник із струмом $\dot{I}_1$ – 1, те саме, $\dot{I}_2$ – 2, те саме, $\dot{I}_3$ – 3, то на рисунок 3.2 зображено саме такий варіант під'єднання.



Рисунок 3.2 – Варіант під'єднання чотирипровідної лінії
до лінії живлення

Очевидно, що дану лінію можна під'єднати і з іншим фазуванням. Наприклад, до фази А – провідник 3, до фази В – 1 і до фази С – 2. Загалом ми можемо отримати $3!$ варіантів під'єднання, тобто 6 варіантів (нейтральний провідник не враховуємо, оскільки немає інших варіантів його під'єднання). Всі ці варіанти занесені до табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Варіанти під'єднання чотирипровідної лінії до лінії живлення

Номер варіанту	Фаза живильної мережі		
	А	В	С
1	1	2	3
2	3	1	2
3	2	3	1
4	2	1	3
5	3	2	1
6	1	3	2

З табл. 2.1 видно, що у варіантах 1-3 система “обертається” за годинниковою стрілкою, а у варіантах 4-6 – фази змінені місцями.

На рисунок 3.3 зображені векторні діаграми всіх можливих варіантів. При побудові вектор $\dot{U}_A$ суміщений з дійсною віссю комплексної площини. Допустимо, що система напруг симетрична і відхилення її значення знаходиться в допустимих межах. Всі однофазні електроприймачі мають активно-індуктивний характер, і струм при їх під'єднанні до чотирипровідної електричної мережі буде відставати від відповідного вектора фазної напруги. Саме це відображено на векторних діаграмах рисунок 3.3. Із векторних діаграм видно, що у варіантах 1-3 $|\dot{I}_H|$ незмінний при множині значень аргументу $\{42^\circ; 162^\circ; -78^\circ\}$; у варіантах 4-6 $|\dot{I}_H|$ приймає інше значення з множиною значень аргументу $\{64^\circ; 184^\circ; -56^\circ\}$.

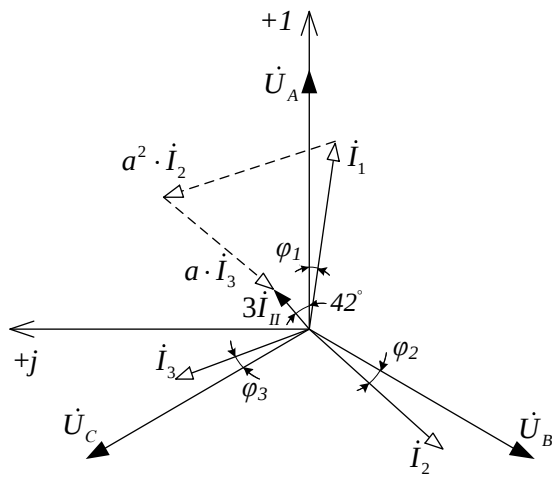
Із векторних діаграм, рисунок 3.3 видно, що режим зворотної послідовності залежить від фазування лінії при її під'єднанні до живильної мережі. Встановимо необхідні аналітичні залежності, які дозволять робити оцінку стану системи.

Розрахувати струм зворотної послідовності в лінії з несиметричним навантаженням за методом симетричних складових можна так:

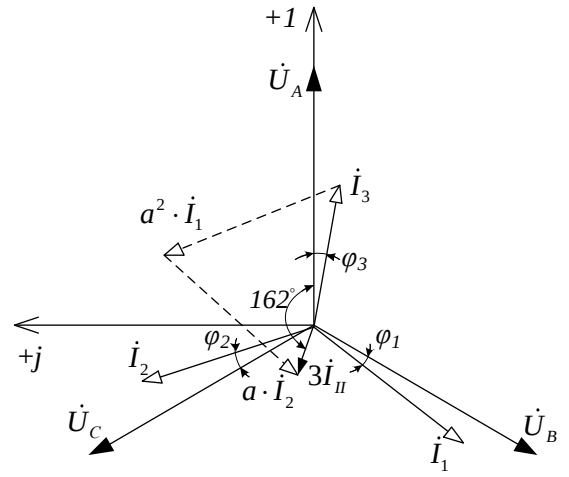
$$\dot{I}_H = \frac{1}{3} \cdot (\dot{I}_a + a^2 \cdot \dot{I}_b + a \cdot \dot{I}_c). \quad (3.1)$$

У даному випадку залежність (3.1) складена для першого варіанту під'єднання чотирипровідної лінії до живильної мережі. Для даного розрахунку необхідні наступні вхідні дані:

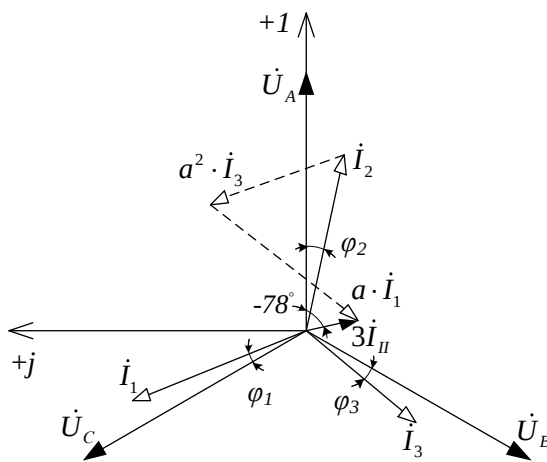
- діючі значення струмів у кожному провіднику лінії;
- коефіцієнти потужності або кути зсуву фаз у кожному провіднику лінії. Їх можна отримати шляхом безпосереднього вимірювання.



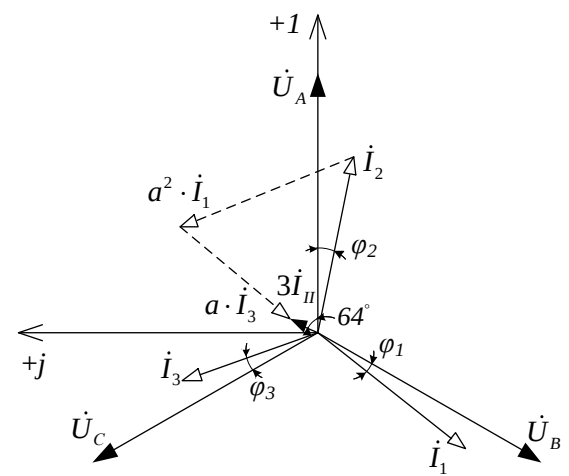
Варіант 1



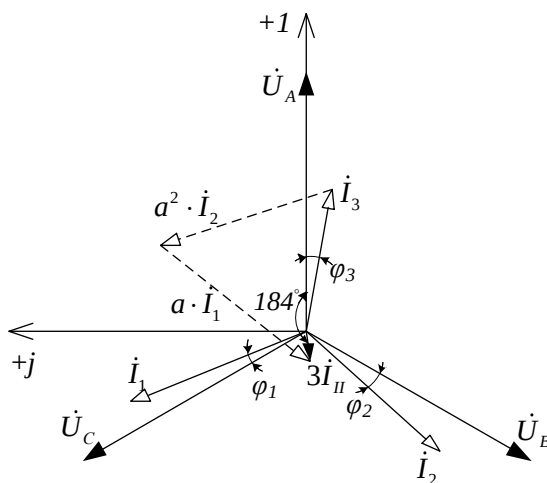
Варіант 2



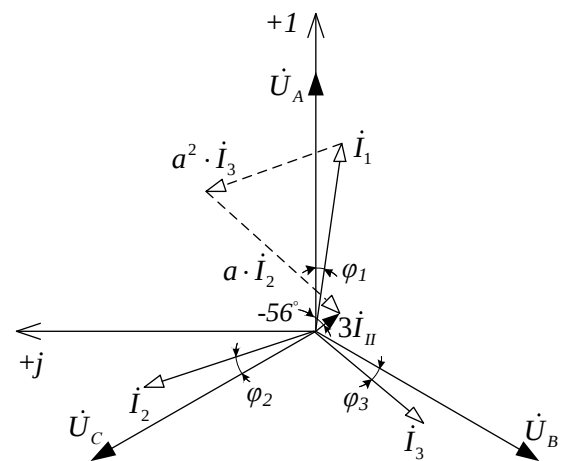
Варіант 3



Варіант 4



Варіант 5



Варіант 6

Рисунок 3.3 – Векторні діаграми формування струмів зворотної послідовності для всіх можливих варіантів під'єднання лінії з несиметричним навантаженням до магістральної лінії

Таким чином, в залежності від того, як приєднується провідники чотирипровідної лінії з несиметричним навантаженням до магістралі струм зворотної послідовності у ньому буде змінюватись так:

$$\begin{aligned}\dot{I}_1 &= I_1 \cdot e^{-j\varphi_1}, & \text{при під'єднанні до } U_A; \\ \dot{I}_2 &= I_2 \cdot e^{-j(120^\circ+\varphi_2)}, & \text{при під'єднанні до } U_B; \\ \dot{I}_3 &= I_3 \cdot e^{j(120^\circ-\varphi_3)}, & \text{при під'єднанні до } U_C.\end{aligned}\quad (3.2)$$

Знаходження струму зворотної послідовності для кожного можливого варіанту під'єднання лінії можна розрахувати за формулами:

$$\dot{I}_{II} = \frac{1}{3} \cdot \begin{cases} (\dot{I}_1 + a^2 \cdot \dot{I}_2 + a \cdot \dot{I}_3), & \text{вар. 1;} \\ (\dot{I}_3 + a^2 \cdot \dot{I}_1 + a \cdot \dot{I}_2), & \text{вар. 2;} \\ (\dot{I}_2 + a^2 \cdot \dot{I}_3 + a \cdot \dot{I}_1), & \text{вар. 3;} \\ (\dot{I}_2 + a^2 \cdot \dot{I}_1 + a \cdot \dot{I}_3), & \text{вар. 4;} \\ (\dot{I}_3 + a^2 \cdot \dot{I}_2 + a \cdot \dot{I}_1), & \text{вар. 5;} \\ (\dot{I}_1 + a^2 \cdot \dot{I}_3 + a \cdot \dot{I}_2), & \text{вар. 6.} \end{cases} \quad (3.3)$$

З урахуванням (3.2) вираз (3.3) перепишеться:

$$\dot{I}_{II} = \frac{1}{3} \cdot \begin{cases} (I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + a^2 \cdot I_2 \cdot e^{-j(120^\circ+\varphi_2)} + a \cdot I_3 \cdot e^{j(120^\circ-\varphi_3)}), & \text{вар. 1;} \\ (I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + a^2 \cdot I_1 \cdot e^{-j(120^\circ+\varphi_1)} + a \cdot I_2 \cdot e^{j(120^\circ-\varphi_2)}), & \text{вар. 2;} \\ (I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + a^2 \cdot I_3 \cdot e^{-j(120^\circ+\varphi_3)} + a \cdot I_1 \cdot e^{j(120^\circ-\varphi_1)}), & \text{вар. 3;} \\ (I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + a^2 \cdot I_1 \cdot e^{-j(120^\circ+\varphi_1)} + a \cdot I_3 \cdot e^{j(120^\circ-\varphi_3)}), & \text{вар. 4;} \\ (I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + a^2 \cdot I_2 \cdot e^{-j(120^\circ+\varphi_2)} + a \cdot I_1 \cdot e^{j(120^\circ-\varphi_1)}), & \text{вар. 5;} \\ (I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + a^2 \cdot I_3 \cdot e^{-j(120^\circ+\varphi_3)} + a \cdot I_2 \cdot e^{j(120^\circ-\varphi_2)}), & \text{вар. 6.} \end{cases} \quad (3.4)$$

Вирази (3.3) можна переписати так:

$$\dot{I}_{II} = \frac{1}{3} \cdot \begin{cases} (I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + I_2 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_2)} + I_3 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_3)}), & \text{вар. 1;} \\ (I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + I_1 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_1)} + I_2 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_2)}), & \text{вар. 2;} \\ (I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + I_3 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_3)} + I_1 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_1)}), & \text{вар. 3;} \\ (I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + I_1 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_1)} + I_3 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_3)}), & \text{вар. 4;} \\ (I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + I_2 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_2)} + I_1 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_1)}), & \text{вар. 5;} \\ (I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + I_3 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_3)} + I_2 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_2)}), & \text{вар. 6.} \end{cases} \quad (3.5)$$

Як видно, в залежності від під'єднання чотирипровідної лінії з несиметричним навантаженням значення струму зворотної послідовності буде змінюватись. Залежності (3.5) дають можливість зробити оцінку впливу на струм зворотної послідовності в магістральній лінії при будь-якому варіанті під'єднання до неї чотирипровідної лінії з несиметричним навантаженням.

3.3 Струм нульової послідовності в магістральній лінії в залежності від фазування приєднаних ліній

Несиметричні режими в чотирипровідній мережі характеризуються також і наявністю струмів нульової послідовності.

Проведемо аналіз впливу фазування лінії з несиметричним навантаженням, під'єднаної до магістральної лінії на параметри режиму нульової послідовності в цій лінії.

На рисунок 3.4 показані векторні діаграми формування струму нульової послідовності до всіх можливих варіантів. Із векторних діаграм видно, що у варіантах 1-3 $|\dot{I}_0|$ незмінний при множині значень аргументу $\{-56^\circ; 184^\circ; 64^\circ\}$; у варіантах 4-6 $|\dot{I}_0|$ приймає іншого значення з множиною значень аргументу $\{-78^\circ; 162^\circ; 42^\circ\}$.

Векторні діаграми, рисунок 3.4, свідчать, що параметри нульової послідовності також залежать від фазування лінії, що приєднується до магістральної лінії.

Для розрахунку режиму нульової послідовності достатньо визначити струм нульової послідовності за методом симетричних складових:

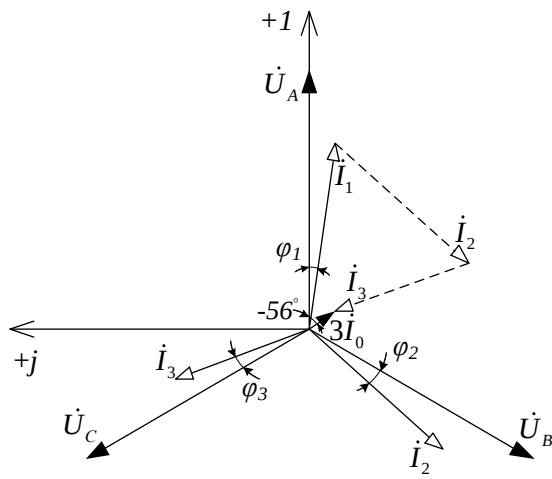
$$\dot{I}_0 = \frac{1}{3} \cdot (\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c).$$

Запишемо формули для знаходження струму нульової послідовності для кожного можливого варіанту під'єднання лінії:

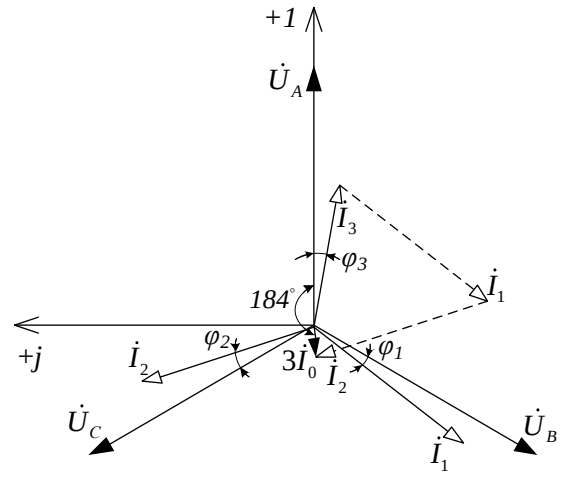
$$\dot{I}_0 = \frac{1}{3} \cdot \begin{cases} (\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3), & \text{вар. 1;} \\ (\dot{I}_3 + \dot{I}_1 + \dot{I}_2), & \text{вар. 2;} \\ (\dot{I}_2 + \dot{I}_3 + \dot{I}_1), & \text{вар. 3;} \\ (\dot{I}_2 + \dot{I}_1 + \dot{I}_3), & \text{вар. 4;} \\ (\dot{I}_3 + \dot{I}_2 + \dot{I}_1), & \text{вар. 5;} \\ (\dot{I}_1 + \dot{I}_3 + \dot{I}_2), & \text{вар. 6.} \end{cases} \quad (3.6)$$

На перший погляд струм не змінюється, оскільки від перестановки доданків сума не змінюється. Але, із врахуванням зміни фази струмів при під'єднанні на різні напруги (3.2), отримаємо:

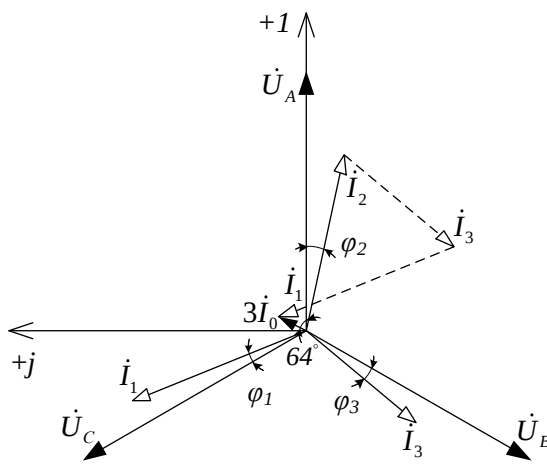
$$\dot{I}_0 = \frac{1}{3} \cdot \begin{cases} (I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + I_2 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_2)} + I_3 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_3)}), & \text{вар. 1;} \\ (I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + I_1 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_1)} + I_2 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_2)}), & \text{вар. 2;} \\ (I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + I_3 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_3)} + I_1 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_1)}), & \text{вар. 3;} \\ (I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + I_1 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_1)} + I_3 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_3)}), & \text{вар. 4;} \\ (I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + I_2 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_2)} + I_1 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_1)}), & \text{вар. 5;} \\ (I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + I_3 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_3)} + I_2 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_2)}), & \text{вар. 6.} \end{cases} \quad (3.7)$$



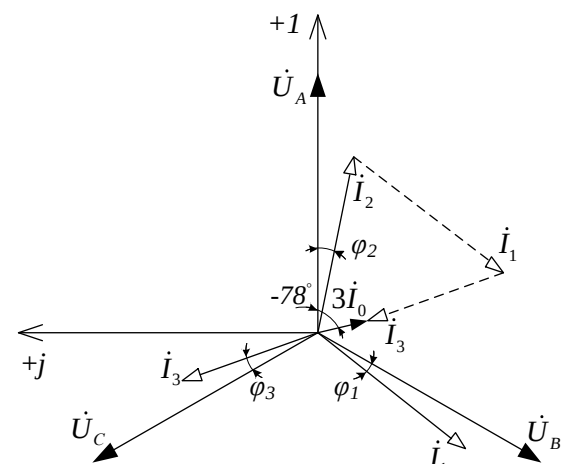
Варіант 1



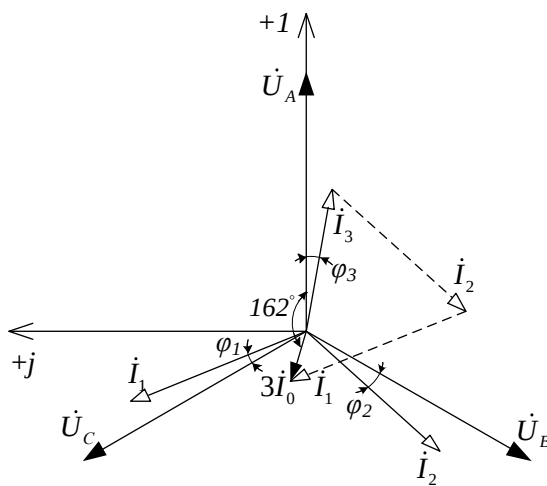
Варіант 2



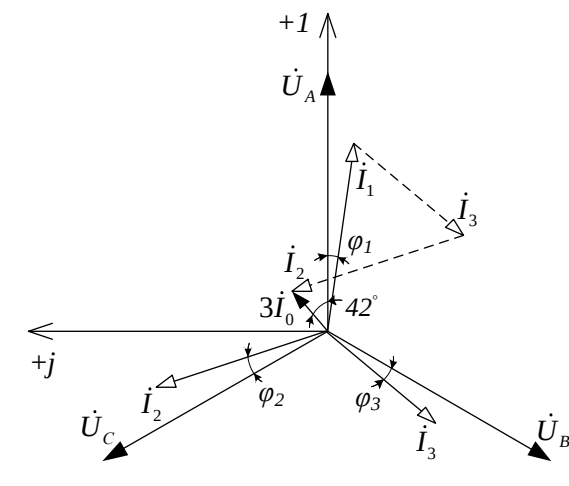
Варіант 3



Варіант 4



Варіант 5



Варіант 6

Рисунок 3.4 – Векторні діаграми формування струмів нульової послідовності для всіх можливих варіантів під'єднання лінії з несиметричним навантаженням до магістральної лінії

Із рис. 3.4 видно, що в залежності від під'єднання чотирипровідної лінії з несиметричним навантаженням буде змінюватись аргумент вектора струму нульової послідовності, оскільки змінюються фази струмів $\dot{I}_1$, $\dot{I}_2$ та $\dot{I}_3$. Таким чином, встановлені функціональні залежності (3.7), що дозволяють розрахувати $\dot{I}_0$ в залежності від прийнятого рішення про під'єднання до магістралі лінії з несиметричним навантаженням. Вираз дає можливість оцінити струм нульової послідовності в магістральній лінії, що утворюється при будь-якому варіанті під'єднання лінії з несиметричним навантаженням.

Порівнюючи вирази (3.5) та (3.7) можна встановити, що при будь-якому варіанті під'єднання лінії з несиметричним навантаженням складова струму $\dot{I}_{\Pi_i}$ та $\dot{I}_{0_i}$ цієї лінії в струмі $\dot{I}_{\Pi\Sigma}$ та $\dot{I}_{0\Sigma}$ буде різною. Тому струми зворотної і нульової послідовності, які характеризується $\dot{I}_{\Pi\Sigma}$ та $\dot{I}_{0\Sigma}$, будуть відрізнятися. Можливі випадки, коли зміна фазування і-ої лінії буде зменшувати параметри зворотної послідовності, а нульової, навпаки, збільшувати. Такий висновок погоджується і відомими результатами, але отриманими для випадку симетрування режиму за допомогою симетрувального пристрою [18, 25]. Тому за критерій ефективності при вирішенні оптимізаційної задачі внутрішнього симетрування чотирипровідних ліній з несиметричним навантаженням такі параметри, як $\dot{I}_{\Pi\Sigma}$ та $\dot{I}_{0\Sigma}$, не можуть бути використаними.

3.4 Струм прямої послідовності в магістральній лінії в залежності від фазування приєднаних ліній

При різних варіантах під'єднання лінії з несиметричним навантаженням до чотирипровідної магістралі певним чином формуються як струми зворотної і нульової (як показано вище), так і струм прямої послідовності. Проте, на відміну від режимів зворотної та нульової

послідовностей, в яких струми спрямовані від навантаження, струм прямої послідовності буде мати протилежний напрямок – до електроприймачів.

На **Error! Reference source not found.** показані векторні діаграми формування струму прямої послідовності для всіх можливих варіантів, які побудовані при допущеннях, зазначених вище. Із наведених векторних діаграм видно, що в усіх варіантах модуль та аргумент струму прямої послідовності залишається незмінним. Векторні діаграми свідчать, що струм прямої послідовності не залежить від фазування під'єднання лінії до магістралі.

На той же результат можна вийти, користуючись методом симетричних складових, якщо визначити струм прямої послідовності, який буде протікати в магістральної лінії при під'єднанні до неї лінії з несиметричним навантаженням:

$$\dot{I}_I = \frac{1}{3} \cdot (\dot{I}_a + a \cdot \dot{I}_b + a^2 \cdot \dot{I}_c). \quad (3.8)$$

Використавши вирази фазних струмів (3.2) у (3.8), ми отримаємо співвідношення для розрахунку струму прямої послідовності при усіх можливих варіантах під'єднання лінії з несиметричним навантаженням до магістралі:

$$\dot{I}_I = \frac{1}{3} \cdot \begin{cases} (I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + a \cdot I_2 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_2)} + a^2 \cdot I_3 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_3)}), & \text{вар. 1;} \\ (I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + a \cdot I_1 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_1)} + a^2 \cdot I_2 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_2)}), & \text{вар. 2;} \\ (I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + a \cdot I_3 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_3)} + a^2 \cdot I_1 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_1)}), & \text{вар. 3;} \\ (I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + a \cdot I_1 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_1)} + a^2 \cdot I_3 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_3)}), & \text{вар. 4;} \\ (I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + a \cdot I_2 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_2)} + a^2 \cdot I_1 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_1)}), & \text{вар. 5;} \\ (I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + a \cdot I_3 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_3)} + a^2 \cdot I_2 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_2)}), & \text{вар. 6.} \end{cases} \quad (3.9)$$

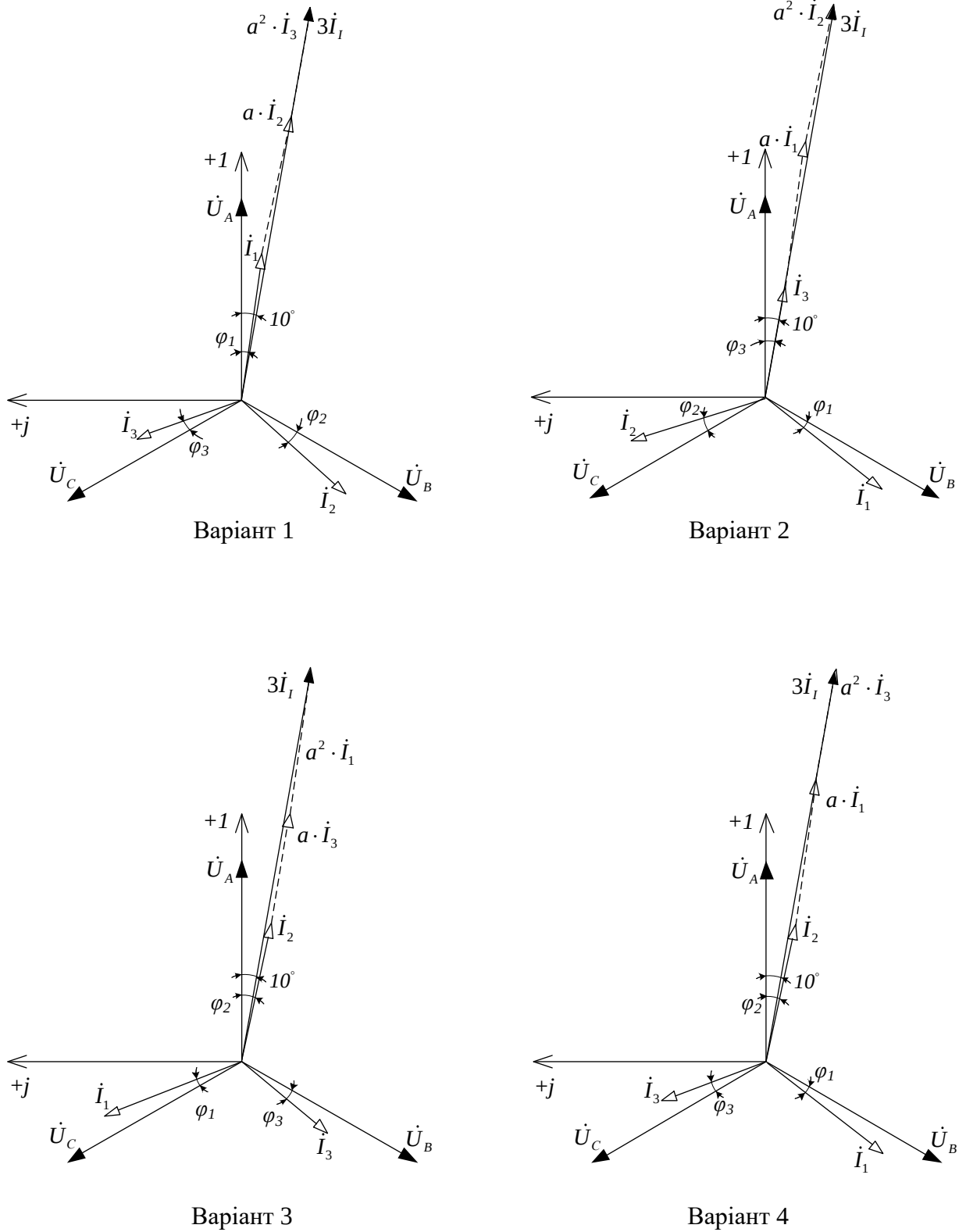


Рисунок 3.5 – Векторні діаграми формування струмів прямої послідовності для всіх можливих варіантів під'єднання лінії з несиметричним навантаженням до магістральної лінії (варіанти 1–4)

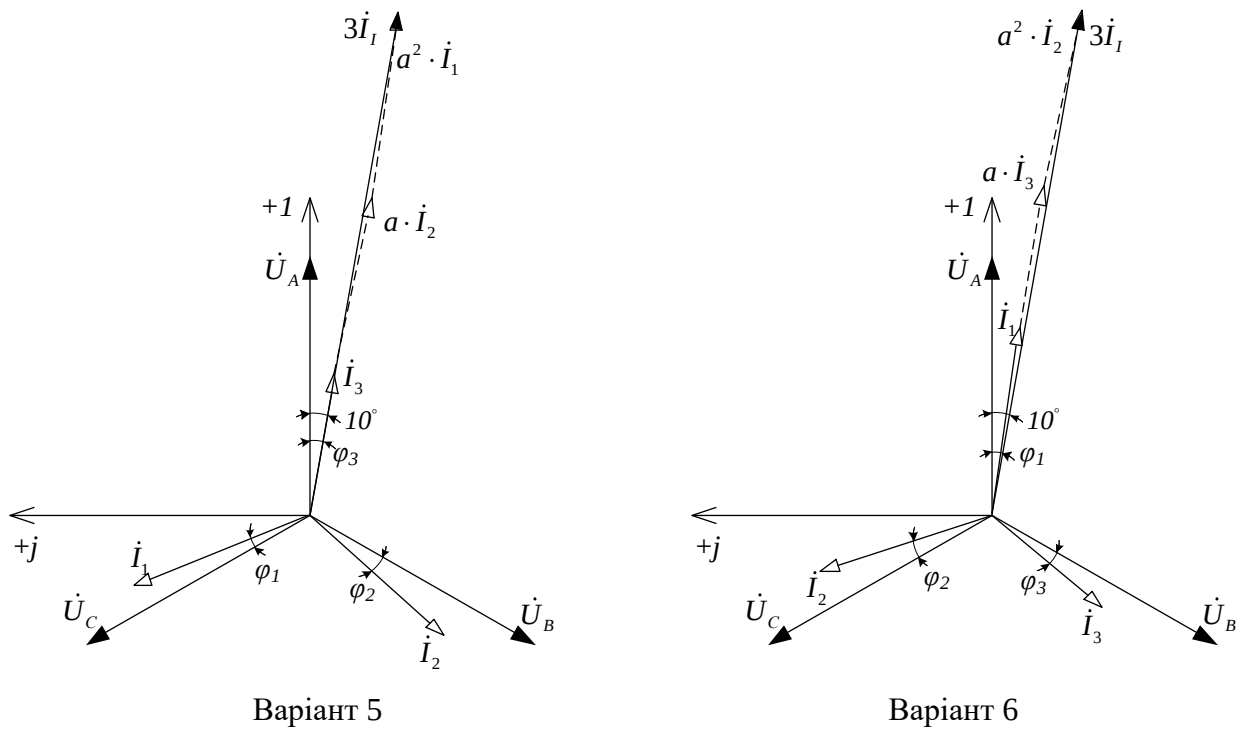


Рисунок 3.5 (продовження) – Векторні діаграми формування струмів прямої послідовності для всіх можливих варіантів під'єднання лінії з несиметричним навантаженням до магістральної лінії (варіанти 5–6)

Підставивши значення оператора повороту, отримаємо:

$$\dot{I}_I = \frac{1}{3} \cdot \begin{cases} (I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + I_3 \cdot e^{-j\varphi_3}), & \text{вар. 1;} \\ (I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + I_2 \cdot e^{-j\varphi_2}), & \text{вар. 2;} \\ (I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + I_1 \cdot e^{-j\varphi_1}), & \text{вар. 3;} \\ (I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + I_3 \cdot e^{-j\varphi_3}), & \text{вар. 4;} \\ (I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + I_1 \cdot e^{-j\varphi_1}), & \text{вар. 5;} \\ (I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + I_2 \cdot e^{-j\varphi_2}), & \text{вар. 6.} \end{cases} \quad (3.10)$$

З отриманого виразу можна зробити висновок, який підтверджує вже отриманий вище про те, що при фазуванні чотирьохпроводної лінії з несиметричним навантаженням при її під'єднанні до магістралі струм прямої послідовності не залежить від варіанту її під'єднання. Для будь-яких випадків він залишається незмінним.

Саме цей факт дає підстави при розрахунках внутрішнього симетрування ліній з несиметричним навантаженням до магістралі не враховувати можливі впливи на режим прямої послідовності.

3.5 Залежність активних втрат в магістральній лінії від фазування приєднаних чотирипровідних ліній з несиметричним навантаженням

При несиметричних режимах в лініях виникають додаткові втрати активної потужності які, в ряді випадків є досить істотними за абсолютним значенням, що підтверджується рядом досліджень в цій галузі [18, 23, 28]. Розглянемо детальніше процес створення додаткових втрат активної потужності в мережах з несиметричним навантаженням.

Активні втрати в розподільчій мережі, що зумовлені несиметрією режиму мають дві складові. Перша – це втрати активної потужності, зумовлені протіканням по лініях струмів зворотної послідовності. Ці втрати описуються за формулою (3.11).

$$\Delta P_{II} = 3 \cdot I_{II}^2 \cdot r_{II}, \quad (3.11)$$

де r_{II} – активна складова опору струму зворотної послідовності.

Друга складова – це втрати активної потужності, обумовлені протіканням в чотирипровідній електричній мережі струмів нульової послідовності. У випадках випадках, коли переріз фазного і нульового провідників однаковий ці втрати знаходяться за формулою:

$$\Delta P_0 = 12 \cdot I_0^2 \cdot r_0,$$

де r_0 – активна складова опору струму нульової послідовності.

Відповідно, сумарні додаткові втрати активної потужності, ΔP_{Σ} , викликані струмами зворотної і нульової послідовностей будуть дорівнювати:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{II} + \Delta P_0, \quad (3.12)$$

Таким чином, ΔP_{Σ} в лініях електропередач прямо пропорційні квадрату струмів зворотної та нульової послідовностей. Як показано, струми зворотної та нульової послідовностей залежать від реалізованого фазування ліній. Тому активні втрати в магістральній лінії також будуть змінюватись якщо змінювати фазування ліній, що відходять.

3.6 Фактор динамічності електричного режиму та необхідність його врахування при внутрішньому симетруванні

Характерним явищем для електричних систем є явище динамічності режимів, що зумовлене зміною потужності різноманітних електроприймачів. Як результат параметри режиму електричної мережі випадків змінюються також змінюються в часі. Відповідно цьому змінюються значення струмів зворотної та нульової послідовностей. Цей фактор має бути врахованим при розрахунках внутрішнього симетрування (рішення прийняті за вихідною інформацією для деякого моменту часу можуть мати негативні наслідки для іншого). Для врахування цих умов скористаємось поняттям математичного очікування або середнього значення. Це показник, що характеризує середньо ймовірнісне значення випадкової величини.

Струми зворотної та нульової послідовностей за своєю природою є векторними величинами. Але в теорії ймовірності відсутнє таке поняття як математичне очікування векторної величини. Але якщо вектор розглянути, як систему двох випадкових величин: дійсної та уявної частини, то математичне очікування вектора струму зворотної послідовності можна записати:

$$M[\dot{I}_{II}] = M[\operatorname{Re}(\dot{I}_{II})] + jM[\operatorname{Im}(\dot{I}_{II})]. \quad (3.13)$$

Математичне очікування дійсної та уявної частини розраховуються за формулами:

$$M[\operatorname{Re}(\dot{I}_{II})] = \frac{\sum_{i=1}^N \operatorname{Re}(\dot{I}_{II_i})}{N}; \quad (3.14)$$

$$M[\operatorname{Im}(\dot{I}_{II})] = \frac{\sum_{i=1}^N \operatorname{Im}(\dot{I}_{II_i})}{N}, \quad (3.15)$$

де $i=1,2,3\dots N$;

N – загальне число вимірів.

Аналогічно для струму нульової послідовності математичне очікування запишеться:

$$M[\dot{I}_0] = M[\operatorname{Re}(\dot{I}_0)] + jM[\operatorname{Im}(\dot{I}_0)]; \quad (3.16)$$

$$M[\operatorname{Re}(\dot{I}_0)] = \frac{\sum_{i=1}^N \operatorname{Re}(\dot{I}_{0_i})}{N}; \quad (3.17)$$

$$M[\operatorname{Im}(\dot{I}_0)] = \frac{\sum_{i=1}^N \operatorname{Im}(\dot{I}_{0_i})}{N}. \quad (3.18)$$

Розглянемо на прикладі розрахунок математичного очікування струму зворотної послідовності. Нехай ми маємо статистичний ряд спостережень систем векторів струмів зворотної послідовності, що наведена в табл. 3.2

Таблиця 3.2 – Статистичний ряд векторів для струмів зворотної послідовності (випадок 1)

$\operatorname{Re}(\dot{I}_{II})$	-5,5	-3	-4,5	-1,8	-5,7	-6,4	-2,9	-7,5	-4,6	-3,7
$\operatorname{Im}(\dot{I}_{II})$	12,6	9,7	10,6	8,3	12,9	15,1	10,2	17,6	13,4	11,2

Математичне очікування струмів наведеного статистичного ряду буде мати значення:

$$\begin{aligned} M[\operatorname{Re}(\dot{I}_{II})] &= -4,56; \\ M[\operatorname{Im}(\dot{I}_0)] &= 12,16; \\ M[\dot{I}_{II}] &= -4,56 + j12,16 \text{ (A)}. \end{aligned}$$

Проведемо аналогічні розрахунки для системи векторів зворотної послідовності (випадок 2), наведеними в табл.3.3

Таблиця 3.3 – Статистичний ряд векторів для струмів зворотної послідовності (випадок 2)

$\operatorname{Re}(\dot{I}_{II})$	-4,2	-2,5	1,5	3,2	4,1	-3,4	2,3	-2,5	-1,8	3,5
$\operatorname{Im}(\dot{I}_{II})$	7,3	5,7	2,3	-9,4	-5,3	6,7	-4,6	3,4	-2,5	-3,7

Математичне очікування вищенаведених струмів буде мати значення:

$$\begin{aligned} M[\operatorname{Re}(\dot{I}_{II})] &= 0,2; \\ M[\operatorname{Im}(\dot{I}_0)] &= -0,1; \\ M[\dot{I}_0] &= 0,2 - j0,1 \text{ (A)}. \end{aligned}$$

З приведених прикладів можна зробити висновок, що при відмінних від нуля параметрах векторів їх математичне очікування може мати близьке до нуля значення (випадок 2). На відміну від значення $M[\dot{I}_{II}]$ у випадку 1, яке досить реально відображає стан системи за даними значеннями, у випадку 2 значення $M[\dot{I}_{II}]$ зовсім не відповідає дійсному стану системи. Це свідчить про те, що внутрішнім симетруванням (де неможлива зміна фазування ліній) у випадку 2 суттєвого позитивного результату отримати не можливо.

3.7 Критерії ефективності для вирішення задачі внутрішнього симетрування та технічні обмеження, що мають бути забезпечені

Задача внутрішнього симетрування ліній з несиметричним електроприймачами є оптимізаційною, оскільки мають місце варіанти її вирішення. Із множини можливих тільки один забезпечить максимальний симетруючий ефект. Для вирішення оптимізаційної задачі внутрішнього симетрування скористаємось методами дослідження операцій. Їх методологія передбачає розробку оптимізаційної математичної моделі. Для цього необхідно обґрунтувати критерій ефективності. Критерій ефективності дає можливість порівнювати різні варіанти, відкидаючи гірші, вибрати серед множини рішень те, яке задовольняє умові мінімуму або максимуму [28,29].

Задача, що досліджується є багатокритеріальною. Одним із критеріїв можуть бути $M(\Delta P_{II\Sigma})$, а другим – $M(\Delta P_{0\Sigma})$. Для вирішення багатокритеріальної задачі внутрішнього симетрування ліній з несиметричними електроприймачами скористаємось методом середньозваженого критерію – сумарними додатковими втратами активної потужності ΔP_{Σ} .

Складові такого критерію можуть мати різні вагові коефіцієнти. Наприклад, якщо до мережі під'єднані перевантажені асинхронні двигуни, які мають суттєвий додатковий нагрів струмами зворотної послідовності, що суттєво скорочує термін служби ізоляції, то складову ΔP_{II} можна ввести із ваговим коефіцієнтом >1 . В такому випадку пріоритетною стає задача зменшення складових режиму зворотної послідовності. Числове значення вагового коефіцієнта має обґрунтовуватися додатковими дослідженнями.

В технічних обмеженнях має бути описана вимога обов'язковості під'єднання всіх відгалужень з несиметричними електроприймачами.

3.8 Математична модель внутрішнього симетрування відгалужень з несиметричними електроприймачами при їх під'єднанні до магістральної лінії

Вихідна інформація для розробки математичної моделі задачі внутрішнього симетрування чотирипровідних ліній, що живлять несиметричні, наведена в табл.3.4.

Дану інформацію слід розглядати як вторинна, яка отримана шляхом статистичної обробки результатів безпосередніх вимірювань струмів по фазах I_A , I_B , I_C та фазних коефіцієнтів потужності – $\cos \varphi_A$, $\cos \varphi_B$, $\cos \varphi_C$.

Таблиця 0.4 – Вхідна інформація для вирішення задачі

N приєднання (n)	Варіант під'єднання до мережі (i)	$M[\dot{I}_{II}]$	$M[\dot{I}_0]$
n	1	$M[\dot{I}_{II_1}]$	$M[\dot{I}_{0_1}]$
	2	$M[\dot{I}_{II_2}]$	$M[\dot{I}_{0_2}]$
	3	$M[\dot{I}_{II_3}]$	$M[\dot{I}_{0_3}]$
	4	$M[\dot{I}_{II_4}]$	$M[\dot{I}_{0_4}]$
	5	$M[\dot{I}_{II_5}]$	$M[\dot{I}_{0_5}]$
	6	$M[\dot{I}_{II_6}]$	$M[\dot{I}_{0_6}]$

Введемо керовані змінні – x_m , $m=1 \div 6 \cdot N$. Кожна змінна може набувати значення 1 або 0. Якщо $x_m=1$, то відповідна чотирипровідна лінія має під'єднуватись до магістралі за варіантом, який встановлено в табл.3.3. А якщо дорівнює 0, то навпаки за даним варіантом не приєднується.

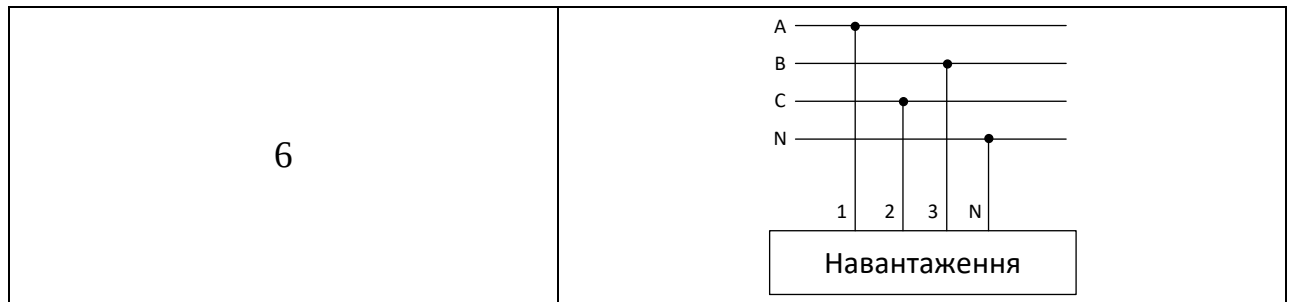
Таблиця 0.5 – Відповідності позначень змінної, яка описує варіант приєднання будь-якої чотирипровідної лінії, та номером цього приєднання

N приєднання (n)	Варіант під'єднання до мережі (i)	Позначення змінної, що описує даний варіант
1	1	X_1
	2	X_2
	3	X_3
	4	X_4
	5	X_5
	6	X_6
2	1	X_7
	2	X_8
	3	X_9
	4	X_{10}
	5	X_{11}
	6	X_{12}
...	...	...
n	1	X_{6n-5}
	2	X_{6n-4}
	3	X_{6n-3}
	4	X_{6n-2}
	5	X_{6n-1}
	6	X_{6n}
...	...	...
N	1	X_{6N-5}
	2	X_{6N-4}
	3	X_{6N-3}
	4	X_{6N-2}
	5	X_{6N-1}
	6	X_{6N}

В табл. 3.6 наведена відповідність номеру варіанта приєднання до мережі та його схемою.

Таблиця 0.6 – Відповідність номеру варіанта під'єднання до мережі та його схемою

Варіант під'єднання до мережі (i)	Схема під'єднання
1	Навантаження
2	Навантаження
3	Навантаження
4	Навантаження
5	Навантаження



Змінні утворюють вектор керування:

$$\mathbf{X}^T = (x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_{6n-5} \ x_{6n-4} \ x_{6n-3} \ x_{6n-2} \ x_{6n-1} \ x_{6n} \ \dots \ x_{6N})$$

де T – індекс транспонування.

Для будь-якого варіанту приєднання можна використати узагальнене позначення змінної $x_{6n-(6-i)}$. Такою змінною встановлюється однозначна відповідність між номером приєднання, варіантом під'єднання і позначенням керованої змінної.

Складемо цільову функцію, яка описує критерій ефективності через введені змінні. Запишемо цільову функцію для випадку двох приєднань. Результати, що отримані, поширимо на випадок N приєднань.

Випадок двох приєднань:

$$\begin{aligned}
 M(\Delta P_{\Sigma}) &= M(\Delta P_{II\Sigma}) + M(\Delta P_{0\Sigma}) = 3 \cdot (|M(\dot{I}_{II_1}) \cdot x_1 + M(\dot{I}_{II_2}) \cdot x_2 + M(\dot{I}_{II_3}) \cdot x_3 + \\
 &+ M(\dot{I}_{II_4}) \cdot x_4 + M(\dot{I}_{II_5}) \cdot x_5 + M(\dot{I}_{II_6}) \cdot x_6 + M(\dot{I}_{II_7}) \cdot x_7 + M(\dot{I}_{II_8}) \cdot x_8 + M(\dot{I}_{II_9}) \cdot x_9 + \\
 &+ M(\dot{I}_{II_{10}}) \cdot x_{10} + M(\dot{I}_{II_{11}}) \cdot x_{11} + M(\dot{I}_{II_{12}}) \cdot x_{12}|)^2 \cdot r_{2\Sigma} + 12 \cdot (|M(\dot{I}_{0_1}) \cdot x_1 + M(\dot{I}_{0_2}) \cdot x_2 + \\
 &+ M(\dot{I}_{0_3}) \cdot x_3 + M(\dot{I}_{0_4}) \cdot x_4 + M(\dot{I}_{0_5}) \cdot x_5 + M(\dot{I}_{0_6}) \cdot x_6 + M(\dot{I}_{0_7}) \cdot x_7 + M(\dot{I}_{0_8}) \cdot x_8 + \\
 &+ M(\dot{I}_{0_9}) \cdot x_9 + M(\dot{I}_{0_{10}}) \cdot x_{10} + M(\dot{I}_{0_{11}}) \cdot x_{11} + M(\dot{I}_{0_{12}}) \cdot x_{12}|)^2 \cdot r_{0\Sigma} = \\
 &= (3 \cdot |\sum_{l=1}^{12} M(\dot{I}_{II_l}) \cdot x_l|)^2 \cdot r_{II\Sigma} + 12 \cdot (|\sum_{l=1}^{12} M(\dot{I}_{0_l}) \cdot x_l|)^2 \cdot r_{0\Sigma} \rightarrow \min,
 \end{aligned}$$

де l – індекс, відповідає варіанту під'єднання в спільному переліку всіх чотирипровідних ліній з несиметричним навантаженням.

Цільова функція для випадку приєднань N ліній з несиметричними навантаженнями:

$$M(\Delta P_{\Sigma}) = (3 \cdot \left| \sum_{l=1}^{6N} M(\dot{I}_{II_l}) \cdot x_l \right|)^2 \cdot r_{2\Sigma} + 12 \cdot \left(\left| \sum_{l=1}^{6N} M(\dot{I}_{0_l}) \cdot x_l \right| \right)^2 \cdot r_{0\Sigma} \rightarrow \min. \quad (3.19)$$

Кожне приєднання може бути під'єднане до мережі лише за однією із шести можливих схем, що наведені в табл.3.2. Стосовно першого лінії приєднання це може бути записано аналітично:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 = 1.$$

або

$$\sum_{l=1}^6 x_l = 1.$$

Система обмежень, яка забезпечує указану умову для всіх N приєднань, має вигляд:

$$\begin{aligned} \sum_{l=1}^6 x_l &= 1; \\ \sum_{l=7}^{12} x_l &= 1; \\ &\dots \dots \dots \\ \sum_{l=(6n-5)}^{6n} x_l &= 1; \\ &\dots \dots \dots \\ \sum_{l=(6N-5)}^{6N} x_l &= 1. \end{aligned} \quad (3.20)$$

Одночасно кожне із складених співвідношень (3.20) вказує на те, що кожна лінія має бути приєднаною до магістралі.

В цілому, математична модель, що описує задачу оптимального під'єднання групи ліній з однофазним навантаженням до магістральної лінії, має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} M(\Delta P_{\Sigma}) = (3 \cdot |\sum_{l=1}^{6N} M(\dot{I}_{II_l}) \cdot x_l|)^2 \cdot r_{2\Sigma} + 12 \cdot (|\sum_{l=1}^{6N} M(\dot{I}_{0_l}) \cdot x_l|)^2 \cdot r_{0\Sigma} \rightarrow \min \\ \sum_{l=1}^6 x_l = 1; \\ \sum_{l=7}^{12} x_l = 1; \\ \dots \dots \dots \\ \sum_{l=(6n-5)}^{6n} x_l = 1; \\ \dots \dots \dots \\ \sum_{l=(6N-5)}^{6N} x_l = 1; \\ x_l \in \{1, 0\}, \quad l = 1, 2 \dots 6N. \end{array} \right. \quad (3.21)$$

Для опису математичної моделі використані:

- нескаларна функція дійсного змінного другого порядку (для цільової функції);
- лінійні функції (обмеження).

Всі змінні математичної моделі цілочислові. Тому розроблена математичну модель віднесеться до моделей нескаларної оптимізації (за характером аналітичних співвідношень математичної моделі) і до цілковито числових (за видом змінних). Класичних методів вирішення таких задач не існує [14,28]. Методи нескаларної оптимізації [Error! Bookmark not defined., Error! Bookmark not defined., Error! Bookmark not defined.] для вирішення задачі застосовані бути не можуть, оскільки всі вони вирішують ту або іншу задачу, в якій цільова функція лінійна відносно керованих змінних. В зв'язку з цим розробимо обчислювальний метод для вирішення поставленої задачі.

3.9 Обчислювальний метод для аналізу розробленої математичної моделі

Оптимізаційні методи здійснюють пошук найкращого рішення здійснюючи обмежений цілеспрямований перебір розв'язків. Для оптимізаційних задач в неперервних змінних кількість варіантів розв'язку безмежна і найкращий (або близький до такого) знаходиться лише цілеспрямованим перебором варіантів. Така ідея пошуку оптимальних рішень в задачах лінійного, нелінійного, квадратичного програмування.

Математична модель (3.21) відноситься до моделей цілковитого цілочислового програмування. По-суті задача має обмежену (хоча в деяких випадках і велику) кількість варіантів вирішення. Задача внутрішнього симетрування групи ліній з однофазними навантаженнями має 6^N варіантів допустимих розв'язків. Вважаючи на те, що в реальності кількість приєднань, як правило не суттєва, то таку задачу можна вирішувати шляхом суцільного перебору всіх розв'язків при цьому автоматизувавши процес розрахунку.

Запропонований метод суцільного перебору можливих варіантів передбачає попередню обробку статистичної вхідної інформації про режими кожної лінії. Вторинна інформація (результат обробки інформації первинної) зводиться в таблицю такого вигляду:

Таблиця 0.7 – Математичні очікування струмів $\dot{I}_H$ та $\dot{I}_0$ по кожній лінії при всіх можливих фазуваннях її приєднання до мережі

№ приєднан ня	$M(\dot{I}_{II_l})$						$M(\dot{I}_{0_l})$					
	Варіанти під'єднання до мережі											
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	$M(\dot{I}_{II_1})$	$M(\dot{I}_{II_2})$	.	.	.	$M(\dot{I}_{II_6})$	$M(\dot{I}_{0_1})$	$M(\dot{I}_{0_2})$	.	.	.	$M(\dot{I}_{0_6})$
2	$M(\dot{I}_{II_7})$	$M(\dot{I}_{II_8})$	.	.	.	$M(\dot{I}_{II_{12}})$	$M(\dot{I}_{0_7})$	$M(\dot{I}_{0_8})$	.	.	.	$M(\dot{I}_{0_{12}})$
3	$M(\dot{I}_{II_{13}})$	$M(\dot{I}_{II_{14}})$	.	.	.	$M(\dot{I}_{II_{18}})$	$M(\dot{I}_{0_{13}})$	$M(\dot{I}_{0_{14}})$	.	.	.	$M(\dot{I}_{0_{18}})$
4	$M(\dot{I}_{II_{19}})$	$M(\dot{I}_{II_{20}})$	.	.	.	$M(\dot{I}_{II_{24}})$	$M(\dot{I}_{0_{19}})$	$M(\dot{I}_{0_{20}})$	.	.	.	$M(\dot{I}_{0_{24}})$
5	$M(\dot{I}_{II_{25}})$	$M(\dot{I}_{II_{26}})$	.	.	.	$M(\dot{I}_{II_{30}})$	$M(\dot{I}_{0_{25}})$	$M(\dot{I}_{0_{26}})$	.	.	.	$M(\dot{I}_{0_{30}})$
6	$M(\dot{I}_{II_{31}})$	$M(\dot{I}_{II_{32}})$	.	.	.	$M(\dot{I}_{II_{36}})$	$M(\dot{I}_{0_{31}})$	$M(\dot{I}_{0_{32}})$	.	.	.	$M(\dot{I}_{0_{36}})$
...	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
n	$M(\dot{I}_{II_{6n-5}})$	$M(\dot{I}_{II_{6n-4}})$	.	.	.	$M(\dot{I}_{II_{6n}})$	$M(\dot{I}_{0_{6n-5}})$	$M(\dot{I}_{0_{6n-4}})$	.	.	.	$M(\dot{I}_{0_{6n}})$
...	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
N	$M(\dot{I}_{II_{6N-5}})$	$M(\dot{I}_{II_{6N-4}})$	.	.	.	$M(\dot{I}_{II_{6N}})$	$M(\dot{I}_{0_{6N-5}})$	$M(\dot{I}_{0_{6N-4}})$	.	.	.	$M(\dot{I}_{0_{6N}})$

Використовуючи інформацію табл. 3.7, можна скласти математичну модель (3.21) в числовому вигляді.

Суцільний перебір можливих комбінацій під'єднання групи ліній здійснюється за таким алгоритмом, рисунок 0..



Рисунок 0.7 – Алгоритм суцільного перебору варіантів під'єднання групи ліній з однофазними навантаженнями для визначення оптимального

Комбінації можливих під'єднань ліній для визначення оптимального варіанту за алгоритмом рисунок 0., можуть намічатись за схемою, табл. 3.8, де наведені елементи вектора керування, якими описується реалізація відповідного варіанту.

Таблиця 0.8 – Варіанти під'єднання ліній до шин ТП

Комбінація під'єднання	Лінії з однофазними навантаженнями та варіанти їх під'єднання																		
	Лінія 1						Лінія 2							Лінія N					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	...	1	2	3	4	5	6
1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0		1	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0		0	1	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0		0	0	1	0	0	0
4	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0		0	0	0	1	0	0
5	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0		0	0	0	0	1	0
6	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	1
7	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		1	0	0	0	0	0
8	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		0	1	0	0	0	0
9	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		0	0	1	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		0	0	0	1	0	0
...																			
6 ^N	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1		0	0	0	0	0	1

Таким чином, перебравши усі варіанти, знаходиться оптимальний вектор керування, якому відповідає найменші сумарні втрати.

ПРИКЛАД Розрахувати оптимальний варіант під'єднання до РП 0,4 кВ ТП з трансформатором потужністю 400 кВА чотирьох ліній з несиметричними електроприймачами. ТП живиться лінією, яка виконана проводом АС-35 довжиною 5 км. Розрахункова схема представлена на рисунок 0..

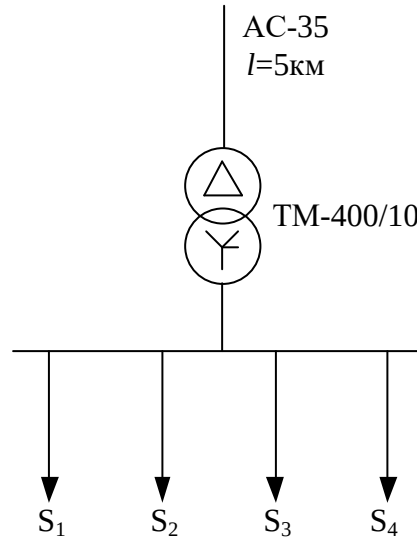


Рисунок 0.9 – Розрахункова схема

Вхідні дані для розрахунку отримані вимірюваннями пристроєм Метовох, які виконанні на одній з ТП, що експлуатується на підприємстві.

Реалізований варіант фазування чотирипровідних ліній, що відходять, з деяким несиметричним навантаженням, який прийнято як опорне рішення:

$$X := (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)^T$$

Оптимальний вектор керування, що отриманий за результатами розрахунків за розробленим алгоритмом:

$$X^T = (0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1)$$

Графіки сумарних втрат потужності в живильній магістральній лінії від несиметрії режиму для поточного та оптимального варіанту під'єднання ліній з несиметричними електроприймачами зображено на рис. 3.10.

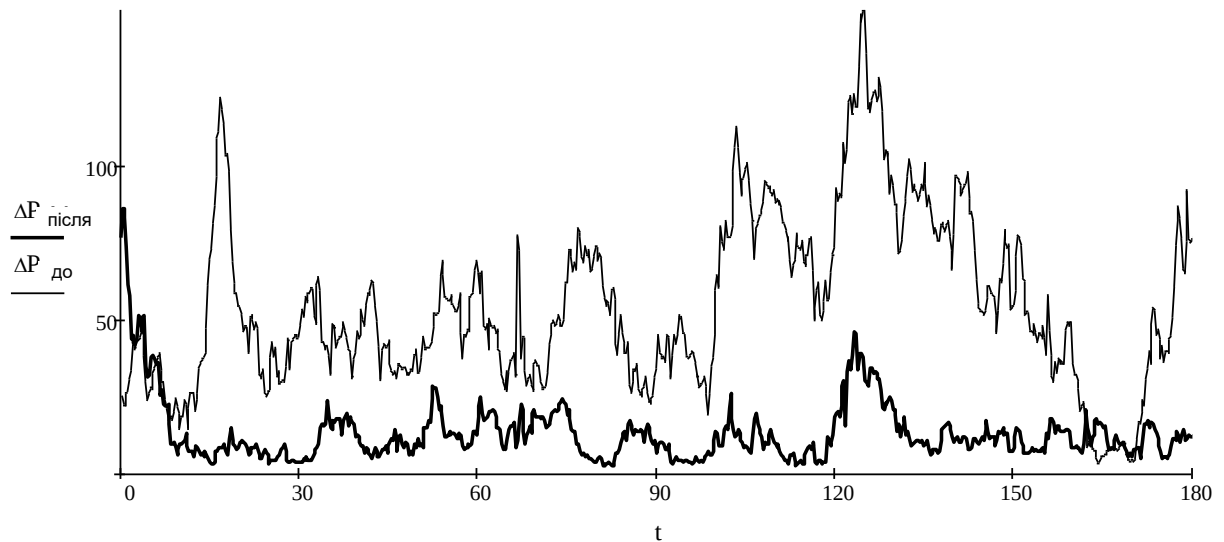


Рисунок 0.10 – Графіки зміни в часі сумарних втрат від несиметрії режиму до і після впровадження результатів дослідження

З графіків на **Error! Reference source not found.** можна зробити висновок, що сумарні втрати значно зменшуються після впровадження результатів дослідження.

3.10 Висновки до розділу 3

1. Параметри несиметрії режиму в магістральній лінії, що живить вузол, до якого під'єднані чотирипровідні лінії з несиметричним навантаженням, залежать від їх фазування, а струми прямої послідовності (як модуль, так і аргумент) не залежать від того яким чином вони під'єднані до живильної мережі.

2. Додаткові втрати активної потужності, від несиметрії режиму, визначаються струмами зворотної та нульової послідовності в магістральній лінії живлення.

3. Інтегральним критерієм ефективності, який в цілому оцінює вплив будь-якого технічного рішення із внутрішнього симетрування ліній з

несиметричним навантаженням, є сумарні додаткові втрати активної потужності в магістральній лінії живлення.

4. Розрахувати оптимальне рішення із внутрішнього симетрування ліній з несиметричним навантаженням можна за розробленою математичною моделлю **Error! Reference source not found.**, використавши для її аналізу розроблену в роботі обчислювальну процедуру.

РОЗДІЛ 4.

МЕТОДИ ЕКОНОМІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ ДЛЯ ОБГРУНТУВАННЯ
ЕФЕКТИВНОСТІ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Оцінка економічного ефекту

Будь-який технічний захід і особливо такий, що потребує капітальних вкладень для своєї реалізації, має бути економічно обґрунтованим. Як видно, врахування додаткових факторів (в тому числі і таких, що потребують додаткових витрат) в математичних моделях оптимальної компенсації реактивної потужності впливає на кінцеві результати.

Поняття "економічний ефект" — це загальне поняття, що в нього вкладається все: від чистого прибутку до національного доходу, від доходу окремого підприємства до доходу держави.

Показники прибутку можуть бути різними, що зумовлено передовсім необхідністю відрахування з валового прибутку різних податків і зборів, а також розрахунком прибутку за різні проміжки часу: за місяць, рік або за весь період виробництва продукції, освоєної за допомогою інвестиції. Для розрахунку показників прибутку застосовують формули:

$$П = Ц - С; \quad (4.1)$$

$$П = (Ц - С)A; \quad (4.2)$$

$$П = Ц - Н - С; \quad (4.3)$$

$$П = Ц - Н - С, \quad (4.4)$$

де Π — прибуток;

$\mathcal{C}$ — ціна;

$\mathcal{C}$ — собівартість одиниці продукції;

A — обсяг виробництва за весь термін служби (застосування) продукції;

H — податки та обов'язкові платежі в розрахунку відповідно на одиницю продукції і весь її обсяг за весь термін служби.

В нашому випадку прибуток можна отримати завдяки збереженню електричної енергії, зменшенням збитків та виконання норм поставлених енергопостачальною організацією.

Ефективність проекту характеризується системою показників, які виражають співвідношення вигід і витрат проекту.

4.2 Техніко-економічні розрахунки з порівняння різних варіантів вирішення задачі

Для розрахунку прибутку який отримується при встановленні КУ в мережі можна порівняти два варіанти. В першому подати прибуток від застосування мережі з врахуванням втрати енергії без застосування розрахованого методу, коли оператор приймає рішення по відключенню електроприймачів без розрахунків. В другому подати прибуток від застосування мережі з врахуванням втрат енергії з застосуванням поданого методу.

За другим методом розрахунки проводяться з застосування розрахункового методу, яке розраховується за формулою:

$$B = E \cdot K + O \quad (4.5)$$

де B – річні приведені затрати;

E - питомі капітальні вкладення у виробничі фонди;

К - коефіцієнт, який враховує тип програмного забезпечення (вартість програмного забезпечення);

О - експлуатаційні витрати (збитки від втрат електроенергії).

4.3 Розрахунок терміну окупності капітальних вкладень

Виконання наукової роботи потребує поточних витрат – П, пов'язаних з оплатою праці наукових працівників, відряджень, придбанням експериментального обладнання, впровадження даного методу в роботу існуючого підприємства і т.д., а якщо її результати передбачають установку деякого пристрою або розробку прикладного програмного забезпечення, то необхідні ще капітальні вкладення – К.

Щоб оцінити термін окупності грошових витрат треба:

- скласти кошторис поточних витрат капітальних вкладень;
- порахувати річний економічний ефект, який буде мати місце у різі впровадження виконаної розробки – Е.

Термін окупності грошових витрат на дослідження, на виготовлення пристроїв організації праці даного методу, на розробку програмного забезпечення розраховується:

$$T_{ок} = \frac{K + П}{E}. \quad (4.6)$$

Для робіт, пов'язаних із впровадженням інформаційних технологій, термін окупності може бути розрахований так:

$$T_{ок} = \frac{B}{E}, \quad (4.7)$$

де В – вартість програмного забезпечення.

Для задачі керування графіком реактивної потужності, яка вирішувалася в магістерській роботі, економічний ефект полягає у зменшенні збитків, пов'язаних з компенсації реактивної потужності.

Для оцінки середнього значення зменшення збитків, необхідно провести порівняння збитків в мережі у випадку коли оператор приймає рішення без розрахунків даним методом та збитків у випадку коли оператор користується методом розрахунку і приймає рішення згідно розрахунку. Дослідження збитків можна проводити за день, за місяць або за рік. Для максимально точного результату рекомендується дослідження проводити не менше місяця. Отримавши результати обох випадків знаходять середнє значення за день, а потім за місяць. Порівнявши результати можна оцінити рівень зменшення збитків з застосуванням методу динамічного програмування для компенсації реактивної потужності.

4.4 Висновки до розділу 4.

1. Компенсація реактивної потужності є найдешевшим і ефективним засобом підвищення техніко-економічних показників електропостачання, який зменшує всі види втрат електроенергії.

2. Проаналізувавши отримані результати, можна стверджувати, що оптимальне використання наявної потужності КУ споживача електроенергії може зменшити втрати активної потужності, підвищити рівень напруги в вузлах та покращити параметри мережі, що є досить ефективно.

3. Розроблене математичне забезпечення розрахунку оптимального під'єднання ліній з несиметричним навантаженням до збірних шин трансформаторної підстанції для його реалізації не потребує суттєвих капітальних витрат і тому є економічно ефективним.

РОЗДІЛ 5.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В цьому розділі розглянуті заходи та засоби з охорони праці під час оптимізації системи електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод» з встановленням дахової сонячної електростанції. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які впливають на електротехнічний персонал, що монтує та обслуговує технологічне обладнання підприємства [1, 2].

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

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, в основному аерозолі фіброгенної дії (органічний і нетоксичний пил).

Фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: сенсорні та емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Живлення системи електропостачання та системи освітлення підприємства здійснюється від п/ст 10/0,4 кВ кабельними лініями, що прокладені в траншеях. Для живлення використовується трифазна

чотирипровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Категорія умов по небезпеці електротравматизма, відповідно до ПБЕ [4, 5], залежить від наявності факторів підвищеної або особливої небезпеки. При наявності таких факторів як підвищена вологість, струмопровідний пил, можливість одночасного контакту з металевими корпусами обладнання та механізмами, що мають зв'язок з землею, окремо в різних приміщеннях підприємства, їх можна віднести до категорії підвищеної небезпеки.

Роботи в електроустановках стосовно заходів безпеки поділяються на три категорії: зі зняттям напруги; без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них; без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою.

В процесі монтажу та експлуатації електрообладнання виникає потреба в виконанні ремонтних робіт без порушення технологічного процесу. До робіт, які виконуються без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них, належать роботи, що проводяться безпосередньо на цих частинах. Роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них слід виконувати не менше як двом працівникам, з яких керівник робіт повинен мати групу IV, інші – групу III.

Роботою без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою, вважається робота, під час якої є неможливим випадкове наближення працівників і ремонтного оснащення та інструменту, що застосовуються ними, до струмопровідних частин на відстань, меншу від допустимих, проведення технічних або організаційних заходів для запобігання такому наближенню не потрібно.

Під час роботи в електроустановках напругою до 1000 В без зняття напруги на струмопровідних частинах чи поблизу від них необхідно: обгородити розташовані поблизу робочого місця інші струмопровідні частини, що перебувають під напругою, і до яких можливий випадковий дотик; працювати в діелектричному взутті чи стоячи на ізолювальній підставці або на діелектричному килимі; застосовувати інструмент із

ізолювальними руків'ями (у викруток, крім того, має бути ізольований стрижень); за відсутності такого інструменту слід користуватися діелектричними рукавичками.

Під час виконання робіт без зняття напруги на струмопровідних частинах за допомогою ізолювальних засобів захисту необхідно: тримати ізолювальні частини засобів захисту за руків'я до обмежувального кільця; розміщувати ізолювальні частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмопровідними частинами двох фаз чи замикання на землю; користуватися тільки сухими і чистими ізолювальними частинами засобів захисту з непошкодженим лаковим покриттям. В разі виявленні порушень лакового покриття чи інших несправностей ізолювальних частин засобів захисту, користування ними забороняється.

В процесі роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолювальні штанги та кліщі, електровимірювальні кліщі, покажчики напруги) допускається наближення працівника до струмопровідних частин на відстань, яка визначається довжиною ізолювальної частини цих засобів. Без застосування електрозахисних засобів забороняється торкатися ізоляторів електроустановки, що перебуває під напругою.

В електроустановках забороняється працювати у зігнутому стані, якщо в разі випрямлення відстань до струмопровідних частин буде меншою від допустимих. В процесі виконання робіт біля необгороджених струмопровідних частин забороняється розташовуватися таким чином, щоб ці частини знаходилися позаду чи з двох боків.

Заносити довгі предмети (труби, драбини тощо) та працювати з ними в РУ, в яких унеможливлено випадковий дотик до частин, що перебувають під напругою, потрібно вдвох під постійним наглядом керівника робіт. Риштування та драбини, що застосовуються для ремонтних робіт, мають бути виготовлені за ДСТУ чи ТУ на них. Опорна частина драбин, що встановлюються на гладких поверхнях, має бути оббита гумою, а на опорних

частинах драбин, що встановлюються на землі, мають бути гострі металеві наконечники. Драбини повинні верхнім кінцем надійно спиратися на міцну опору. У разі необхідності обіперти драбину на провід, вона повинна бути обладнана гачками в верхній частині. Зв'язані драбини застосовувати забороняється. В разі встановлення приставних драбин на підкранових балках, елементах металевих конструкцій тощо необхідно надійно закріпити верхівку і низ драбини на конструкціях. В процесі обслуговування та ремонту електроустановок застосування металевих драбин забороняється.

Роботу із застосуванням драбин виконують два працівники, один з яких перебуває знизу. Стоячи на ящиках та інших сторонніх предметах виконувати роботи забороняється.

Роботи на кінцевих опорах ПЛ, що перебувають на території відкритих розподільчих пристроїв (ВРП), слід виконувати за правилами роботи на ВРП. Ремонтні працівники ліній перед тим, як зайти у ВРП, повинні бути проінструктовані і заходити до місця робіт у супроводі оперативного працівника з групою ІІІ; виходити з ВРПУ після закінчення роботи чи під час перерви працівникам дозволяється під наглядом керівника робіт.

Категорія умов по небезпеці електротравматизму залежить від наявності факторів підвищеної або особливої небезпеки. При наявності таких факторів як підвищена вологість, струмопровідний пил, контакт обслуговуючого персоналу з струмоведучими частинами, - приміщення можна віднести до категорії підвищеної небезпеки.

5.1.2 Електробезпека

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

- 1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно: розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в

електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги.

2) Електрозахисні засоби захисту. Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється. Електрозахисні засоби поділяються на основні та допоміжні.

Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками. Додатковими називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [6] встановлюють допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Таблиця 5.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па.

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості IIa	18-27	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		17-23	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [7]: температури внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони та зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні параметрів мікроклімату не повинні значно відрізнятися (не більше ніж на 2°C за діапазон норм); якщо температура поверхонь вище або нижче температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1м; для забезпечення нормованих значень руху кисню проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

5.2.2 Виробниче освітлення

Раціональне освітлення – один з основних факторів створення сприятливих робочих умов праці. Недостатнє освітлення викликає передчасне стомлення працюючих, знижує продуктивність праці, може стати причиною нещасного випадку.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормують мінімальну освітленість на найбільш темній ділянці робочої поверхні. Рівень аварійного освітлення складає 15% освітленості основної роботи. Приміщення забезпечене природним освітленням в денний проміжок часу, але ввечері постає проблема в штучному освітленні.

Характеристика зорових робіт – середньої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [8] розряд зорової роботи IV, підрозряд «б». Нормовані значення освітленості наведені в таблиці 5.2.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік),

використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

Таблиця 5.2 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Характер зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	б	малий	світлий	500	200	1,5	0,9

5.2.3 Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» [9]. Нормовані значення виробничого шуму наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Рівень звукового тиску

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

Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні. Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту – «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація». Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

5.2.4 Виробнича вібрація

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

У приміщеннях може бути присутня вібрація типу – За [10]. Тобто технологічна вібрація, яка передається на робочі місця, не маючи джерел

випромінювання. Джерелами вібрацій в умовах, що розглядаються в проекті, являються вентиляційне обладнання, транспорт тощо, які відносяться до типу загальної вібрації.

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$\text{м}\cdot\text{с}^{-2}$	ДБ	$\text{м}\cdot\text{с}^{-2}\cdot 10^{-2}$	ДБ
Загальна	Z_0, Y_0, X_0	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено: динамічне погашення вібрації – приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи; зміна конструктивних елементів машин; застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

5.2.5 Фактори умов праці

Психофізіологічні фактори визначаються відповідно до Гігієнічної класифікації праці [1]. Робота електротехнічного персоналу потребує значних фізичних зусиль за важкістю та напруженістю праці.

1. Клас умов праці за показниками важкості праці – допустимий (середньої важкості): загальні енергозатрати організму (кґ/м) – 291-348; зовнішнє фізичне динамічне навантаження, виражене в одиницях механічної роботи за зміну, кґ/(Вт): при регіональному навантаженні (для чоловіків) –

18000; при загальному навантаженні (за участю м'язів рук, тулуба, ніг) – до 61600; маса вантажу, що постійно підіймається та переміщується вручну, кг – до 35 кг; стереотипні робочі рухи: при локальному навантаженні (участь м'язів кистей та пальців рук)- до 60000; при регіональному навантаженні(участь рук та плечового суглоба) – до 30000; статичне навантаження (кг/с): двома руками (чоловіки) – до 140000; за участю м'язів тулуба та ніг – до 200 000; робоча поза: періодичне перебування в незручній та/або фіксованій позі від 25% до 50% часу зміни; перебування у вимушеній позі (навпочіпки, на колінах тощо) від 10 % до 25 % часу зміни; перебування в позі «стоячи» від 60% до 80% часу зміни; нахил тулуба: вимушені нахили протягом зміни – 101-300 разів; переміщення у просторі (переходи через виконання технологічного процесу) – по горизонталі більше 12, вертикалі – 8 км.

2. Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження: зміст роботи – рішення простих альтернативних завдань згідно з інструкцією; сприймання інформації та їх оцінка – сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій; розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, виконання завдання та його перевірка; характер виконуваної роботи – робота за встановленим графіком з можливим його коригуванням під час діяльності.

Сенсорні навантаження: зосередження (% за зміну) – 51-75; щільність сигналів (звукові за 1 год) – 151-300; навантаження на голосовий апарат – сумарна кількість годин, з напруженням голосового апарату (протягом тижня) – від 16 до 20.

Навантаження на зоровий аналізатор: розмір об'єкта розрізнення (при відстані від очей працівника до об'єкта розрізнення не більше 0,5 м), мм, % часу зміни – 5,0–1,1 мм більше 50% часу; 1,0–0,3 мм до 50 % часу; менше 0,3 мм до 25% часу.

Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів) – розбірливість слів та сигналів від 90% до 70%.

Емоційне навантаження: ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за виконання окремих елементів завдання; ступінь ризику для власного життя – вірогідний; ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших.

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

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Ефективність роботи системи електропостачання, що експлуатується на ТОВ «Вінницький інструментальний завод», може бути підвищеною якщо запровадити виконані розробки.

2. Для умов ТОВ «Вінницький інструментальний завод» оптимальним варіантом за річними приведеними витратами є установка двотрансформаторної підстанції з трансформаторами потужністю 1600 кВА, а виконання живильної лінії кабелем ААБ (3*50).

3. Суттєве зниження активних втрат в трансформаторах та в лінії живлення з одночасним забезпеченням вимог енергосистеми що до споживання реактивної потужності до шин 0,4 кВ ТП слід під'єднати комплектні БСК серії ККУ-0,4 загальною потужністю 720 квар.

4. Параметри несиметрії режиму лінії, що живить вузол, до якого під'єднані лінії з несиметричним навантаженням, залежать від їх фазування, так як, цим визначаються модулі та аргументи струмів зворотної та нульової послідовностей в прийнятій орієнтації комплексної площини.

.

5. Визначити оптимальну комбінацію під'єднання ліній з однофазними навантаженнями до збірних шин ТП можна за розробленою математичною моделлю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рудницький В.Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування. Суми : ВТД «Університетська книга», 2006. 153 с.
2. Бурбело М.Й., Бірюков О.О., Мельничук Л.М. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків. Вінниця : Вінницький національний технічний університет, 2011. 204 с.
3. Шкрабець Ф.П. Електропостачання. Дніпро: НГУ, 2015. 540 с.
4. Правила улаштування електроустановок. Київ : 2017. 617 с.
5. Зайцев М.О., Кучанський В.О., Гунько І.О. Підвищення експлуатаційної надійності та ефективності роботи електричних мереж та електроустановок. Монографія. Друкарня ФОП Гуляєва В.М., 2021.
6. Буряк В.М., Дейнеко Н.А. Вибір електричних апаратів захисту в мережах до 1000 В. Харків : ХНАМГ, 2007. 62 с.
7. ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT). Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності.
8. Зорін В.В., Штогрин Є.А., Буйний Р.О. Електричні мережі та системи. Ніжин : Аспект-Поліграф, 2011. 224 с.
9. Шестеренко В.Є., Шестеренко О.В. Електропостачання промислових підприємств. Вінниця : Нова книга, 2013. 424 с.
10. Шестеренко Є.В. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця : Нова книга, 2004. 655 с.
11. Василега П.О. Електропостачання. Суми : вид-во «Університетська книга», 2018. 415 с.
12. Бурбело М.Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання. Вінниця : Вінницький національний технічний університет, 2017. 123 с.
13. Галузеві будівельні норми України. Електротехнічні пристрої. Київ : Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2012. 139 с.

14. В. А. Попов, В. В. Ткаченко, Ярмолюк О. С. Проектування систем забезпечення споживачів електричною енергією. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 222 с.

15. Давиденко Л. В. Електропостачання промислових об'єктів. Практикум: навчальний посібник / Людмила Валеріївна Давиденко, Наталія Володимирівна Коменда, Володимир Анатолійович Давиденко, Микола Миколайович Євсюк – Луцьк: ВІП ЛНТУ, 2022.– 244с.

16. Терешкевич Л.Б , Терешкевич Н.В. Волоцький А.М. Проектування цехових електричних мереж і освітлювальних установок, Вінниця, ВНТУ 2006.

17. Маліновський А.А. Основи електроенергетики та електропостачання. / Маліновський А.А. Хохулі Б.К. – Львів.: Львівська політехніка, 2007. – 379 с.

18. Терешкевич Л. Б. АСУ режимами систем електропостачання. Навчальний посібник / Вінниця:ВДТУ, 1998. – 119 с.

19. Милосердов В.О. Алгоритмізація оптимізаційних задач енергетики. Навчальний посібник / . Милосердов В.О., Терешкевич Л.Б. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 120 с.

20. Бабенко О.В. Квазізрівноважені вимірювальні канали для установок симетрування навантажень вузлів електричних мереж: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.14.02. / Бабенко О.В. – Вінниця, 2007. – 183с.

21. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування: навчальний посібник для студентів вузів / Попович М. Г., Ковальчук О. В. – К.: Либідь, 2007. – 556 с.

22. Терешкевич Л.Б. Симетрування електричного режиму шляхом зсуву в часі графіків навантаження електроприймачів однофазного виконання / Л.Б. Терешкевич, О.О. Хоменко // Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. Наук. Праць. Вип. 34. – Маріуполь: ДВНЗ «Приазов. Держ. Техн. Ун-т» 2017. – С. 132-139.

24 Терешкевич Л.Б. Внутрішнє симетрування однофазних електроприймачів та вирівнювання їх групового графіка навантажень/ Л.Б. Терешкевич, О.О. Хоменко, І.О.Бандура // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2018. №1. – С. 12-17. Retrieved із <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/2171>

25 Терешкевич Л. Б. [Метод обмеженого перебору варіантів для задач внутрішнього симетрування однофазних електроприймачів](#) / Л. Б. Терешкевич, О.О. Хоменко // Технічна електродинаміка 2: 48–53, 2019 DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2019.02.048>

26. Терешкевич Л. Б. Метод розрахунку внутрішнього симетрування однофазних електроприймачів у вузлах чотирипровідної мережі / Л. Б. Терешкевич, І. О. Бандура, О. О. Хоменко // [Наукові нотатки](#). - 2019. - Вип. 65. - С. 249-253. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2019_65_40

27. Л. Б. Терешкевич і І. О. Бандура, Розробка математичної моделі керування батареями статичних конденсаторів з огляду її реалізації в мікропроцесорній системі, Вісник ВПІ, вип. 6, с. 58–63, Груд. 2021. - Режим доступу: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/2705/2534>

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

29. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

30. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->

31. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_a322_2009/1-1-0-945.

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

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

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

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

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

37. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

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

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

ДОДАТКИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УЗГОДЖЕНО

ЗАТВЕРДЖЕНО
Зав. кафедри ЕСЕМ

“ ” 2024 р.

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.

“ ” 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему:

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«ВІННИЦЬКИЙ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИЙ ЗАВОД»

08-17.МКР.002.05.100 ТЗ

Науковий керівник:

проф. Терешкевич Л.Б. _____

(підпис)

Виконавець: студент гр. ЕСЕ - 19м

Гиляка О.Ю. _____

(підпис)

Вінниця 2024 р.

1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (МКР)

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за № 81 від 11.03 2024 р.

Дата початку роботи 1 квітня 2024 р.

Дата закінчення роботи 10 червня 2024 р.

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

а) мета – Метою роботи є оптимізація системи електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод» шляхом розрахунку оптимальної кількості та потужності трансформаторних підстанцій, оптимальних перерізів ліній 10 кВ мереж підприємства, визначення оптимальних координат місця установки трансформаторних підстанцій та розрахувань оптимальних потужностей конденсаторних установок та розробка методу оптимального керування їх потужністю із врахуванням реальних напруг і вузлі їх під'єднання.

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

в) вихідні дані для виконання МКР:

генплан підприємства (об'єкта); відомості про особливості технологічних процесів та навколишнього середовища (внутрішнього та зовнішнього); відомості про електричні навантаження підприємства (цеха, об'єкта, ділянки, приміщення); відомості про джерела живлення, їх віддаленість; графіки електричних навантажень (для діючого підприємства, енергетичного району); основні техніко-економічні показники.

3. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

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

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

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

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

4. ЕТАПИ І ТЕРМІН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Відомості про ТОВ «Вінницький інструментальний завод».	20.03.2024	
2	Оптимізація системи електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод»	10.04.2024	
3	Оптимізація несиметрії режиму в розробленій системі електропостачання	25.04.2024	
4	Економічна частина роботи	15.05.2024	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	20.05.2024	
6	Написання пояснювальної записки	10.06.2024	

5. МАТЕРІАЛИ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ МКР

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

6. ПОРЯДОК КОНТРОЛЮ ВИКОНАННЯ ТА ЗАХИСТУ МКР

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

7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

7.1 Дані про патентоспроможність

Не передбачається

8 ОЧІКУВАНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ Не передбачається

Додаток Б

ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ
ВИПУСКНОЇ РОБОТИ

Дані про електроспоживачів цехів підприємства наведені в таблиці Б.1.
План підприємства, зображено на рис. Б.1.

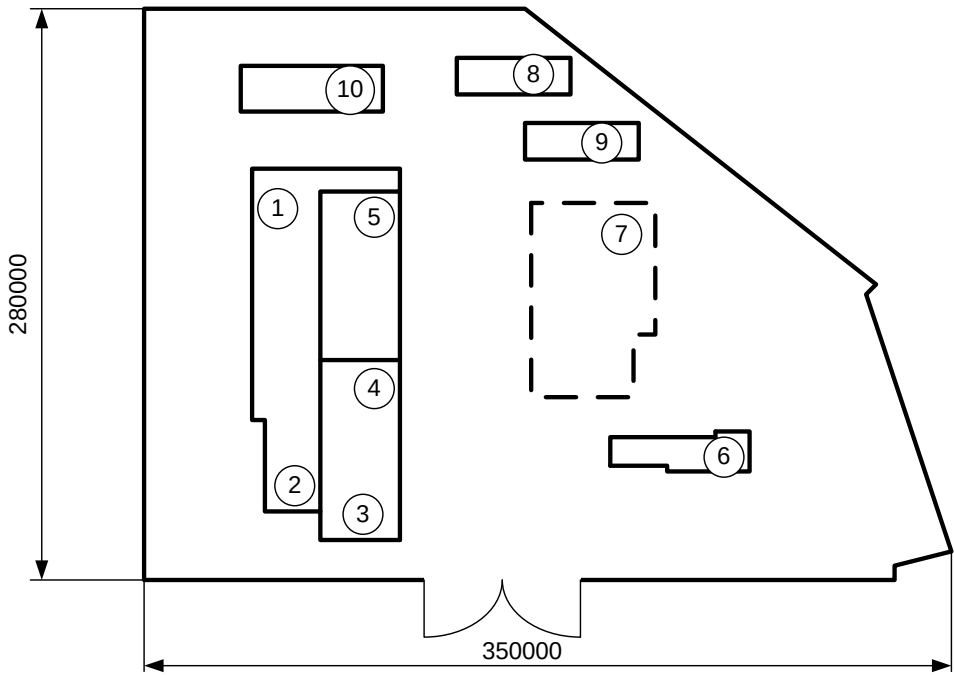


Рисунок Б.1 – План підприємства

Таблиця Б.1 – Дані про електроспоживачів підприємства

№	Найменування цехів та ділень	Р _н , кВт
1	Цех №4 (ковальсько-штампувальний цех)	260
2	Цех №5 (дрібно свердлильний цех розгортки)	150
3	Ділень №3 (термічний цех)	400
4	Ділень №1	200
5	Ділень №11	200
6	Заводоуправління	60
7	Цехи перспективного розширення підприємства	240
8	Склад №1	10
9	Склад №2	10
10	Побутове приміщення	10
11	Субабоненти	500

За надійністю електропостачання підприємство відноситься до споживачів II категорії. Технологічне обладнання підприємства працює на електричній енергії напругою 380В промислової частоти 50 Гц.

Можливі джерела живлення:

Живлення підприємства може здійснюватись від районної трансформаторної підстанції 110/10кВ «Східна». На підстанції "Східна" встановлено два трансформатора типу ТРДН-40000Ун/Д/Д-11-11. Підстанція знаходиться на віддалі 0,65 км. Енергопостачальна компанія визначає для підприємства значення вхідної реактивної потужності – 100 квар.

Назва роботи: Оптимізація системи електропостачання товариства з обмеженою відповідальністю «Вінницький інструментальний завод»

Підрозділ: Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту.

Показники звіту подібності

Unicheck	
Оригінальність	87,3 %
Схожість	12,7 %

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Заявляю, що ознайомлений з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи.

Автор _____ Гиляка О.Ю.

Опис прийнятого рішення

Магістерська кваліфікаційна робота допускається до захисту

Особа відповідальна за перевірку Лобода Ю.В.

Керівник роботи Терешкевич Л.Б.

Эксперт Бурбело М.Й., зав кафедре ЕСЕМ

Додаток Г. Демонстраційний матеріал до МКР

Актуальність .

Діюча система електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод» потребує модернізації згідно до сучасних умов, що склалися на виробництва, із врахуванням перспективи розширення номенклатури виробництва та модернізації технологічних процесів.

Тому робота, в якій розробляється оптимальна система електропостачання із врахуванням зазначених факторів та з використанням сучасних математичних методів оптимізації і технічних засобів САПР із врахуванням реальних умов ТОВ «Вінницький інструментальний завод», слід вважати актуальною.

Об'єкт дослідження – система електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод».

Предмет дослідження – елементи схеми та електричні режими в системі електропостачання.

МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є оптимізація системи електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод» та деяких параметрів її стану шляхом використання сучасних математичних методів оптимізації та інформаційних технологій для розрахунку оптимальних рішень, які стосуються оптимальної потужності трансформаторних підстанцій, оптимальних перерізів живильних та розподільних ліній підприємства, та розрахувань оптимальних потужностей конденсаторних установок із врахуванням перспективи розвитку виробництва, що дасть можливість скоротити долю енерговитрат в собівартості продукції підприємства.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі технічні задачі:

- виконати автоматизовані розрахунки оптимальних потужностей трансформаторів цехових підстанцій;
- здійснити автоматизовані розрахунки оптимальних перерізів ліній електропередач заводських мереж;
- розрахувати оптимальні потужності батарей статичних конденсаторів;
- розробити спеціальне математичне забезпечення внутрішнього симетрування чотирирівідних ліній у разі їх під'єднання до розподільчого пристрою.

Визначення оптимальної потужності ТП підприємства

Математична модель

$$\left\{ \begin{array}{l} Z(S_T) = (E_e + E_a) \cdot k_{ТП}(S_T, k_T) + \left[\Delta P_{xx}(S_T) \cdot k_T + \Delta P_{кз}(S_T) \cdot \frac{S_{ТП}^2}{S_T^2 \cdot k_T} \right] \cdot t \cdot \tau \rightarrow \min_{S_T \in S_{СТ}} \\ S_T \cdot k_T \cdot k_H \geq S_{ТП\text{см}} \\ k_T > 1 \Rightarrow S_T \cdot k_{па} \geq S_{ТПp} \cdot k_{Hпа}, \\ S_T \in S_{СТ} \end{array} \right.$$

Показник ефективності вибору трансформаторів ТП - річні приведені затрати на підстанцію

Керована змінна - потужність трансформаторів – S_T

Множина доступних значень – всі стандартні потужності трансформаторів S_T .

Визначення оптимальної кількості та потужності цехових ТП

1	Вибір оптимальної потужності ЦТП за мінімум затрат											
2	Економічні характеристики											
3	Питома вартість втрат, грн/кВт										Bo =	560,895
4	Коефіцієнт ефективності капітоловкладень										Ee =	0,1
5	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію										Ea =	0,036
6						ТП1						
7	Дані нормального режиму											
8	Розрахункова потужність ТП, кВА										Sp=	1804,11
9	Середня потужність ТП, кВА										Sc=	768,66
10	Кількість трансформаторів										кт=	2
11	Допустимий коефіцієнт навантаження в н. режимі										Kn=	1
12	Дані післяаварійного режиму											
13	Допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі										Kпа =	1,3
14	Доля навантаження в післяаварійному режимі										Kппа =	0,8
15												
16	*	St кВА	ΔРкз кВт	ΔРхх кВт	Ктп, тис.грн.	Е*К, тис.грн.	ΔРзм кВт	ΔРпс кВт	ΔР кВт	Вв, тис.грн.	З, тис.грн	Х
17		63	1,28	0,24	95,78	13,02608	524,8376	0,48	525,3176	294,648		-
18		100	1,97	0,33	101,71	13,83256	320,5991	0,66	321,2591	180,1926		-
19		160	3,1	0,51	109,45	14,8852	197,0687	1,02	198,0887	111,107		-
20		250	4,2	0,74	119,46	16,24656	109,3617	1,48	110,8417	62,17056		-
21		400	5,9	0,95	143,38	19,49968	60,01061	1,9	61,91061	34,72535		-
22		630	8,5	1,31	159,53	21,69608	34,85249	2,62	37,47249	21,01813		-
23		1000	10,5	2,1	188,23	25,59928	17,08777	4,2	21,28777	11,9402		-
24	V	1600	18	2,8	234	31,824	11,4427	5,6	17,0427	9,559166	41,38317	1600
25		2500	23,5	3,85	267,73	36,41128	6,119048	7,7	13,81905	7,751035	44,16232	2500
26												
27	Мінімальні затрати, грн									Зmin=	41,38317	
28	Оптимальна потужність трансформатора, кВА									St*=	1600	
29	Оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора									кз*=	0,563784	

*	St кВА	ΔРк
63		
100		
160		
250		
400		
630		
1000		
V 1600		
2500		

Розрахунок оптимального перерізу кабельних ліній

Математична модель

$$\left\{ \begin{array}{l} Z(x) = \left[(E_e + E_a) \cdot K_0(x) + 3 \cdot I_\lambda^2 \cdot r_0(x) \cdot t \cdot \tau \right] \cdot L \cdot k_\lambda \rightarrow \min_{x \in X_{cm}} \\ x \geq x_{\partial on} \equiv k_{\partial on} \cdot I_{\partial on}(x) \geq I_\lambda \\ x \geq x_{\partial on} \equiv k_{na} \cdot I_{\partial on}(x) \geq I_\lambda \cdot k_\lambda \cdot k_{nna} \\ \Delta U_n(x) \leq \Delta U_{\partial on} \\ \Delta U_{na}(x) \leq \Delta U_{\partial on} \\ x \geq x_{кз} = \frac{I_{кз} \cdot \sqrt{t_n}}{C} \\ x \in X_{cm} \end{array} \right.$$

Керована змінна: переріз кабельних ліній (мм²).

Множина доступних рішень: множина всіх стандартних перерізів кабельних ліній 10 кВ.

Розрахунок оптимального перерізу кабельних ліній

Вибір оптимального перерізу зовнішньої живлячої КЛ

Економічні характеристики

Питома вартість втрат, грн/кВт

Коефіцієнт ефективності капіталовкладень

Коефіцієнт відрахувань на амортизацію

Дані нормального режиму

Напруга, кВ

Активна розрахункова потужність споживача, кВт

Реактивна розрахункова отужність споживача, кВАр

Розрахунковий струм окремого кабелю, А

Коефіцієнт допустимого навантаження

Допустима втрата напруги в КЛ, %

Кількість кабелів

Довжина лінії, км

Дані аварійного режиму

Струм КЗ на початку лінії, кА

Приведений час КЗ, с

Тепловий коефіцієнт C, (A*c^(1/2))/мм^2

Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм^2

Максимально допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі

Доля навантаження в післяаварійному режимі

Допустима втрата напруги в КЛ, %

Bo= 560,895

Ee= 0,1

Ea= 0,04

U = 10

P = 959,7861

Q = 821,0611

Ip = 34,30

Kдоп = 1,00

dUдоп = 5

k = 2

L = 2,5

Ikз = 3,0386856

tn = 1,5

C = 90

Fкз

F, мм^2	Ro, Ом/км	Xo, Ом/км	KO, т.грн/км	Iдоп, А	dUn, %	dUna, %	dP, кВт	K, т.грн	E*K, т.грн	Bв, т.грн	З, т.грн	X	Kдоп*Iдоп >= Ip
10	3,1	0,122	9,5381	65	3,84	6,15	54,71	47,69	6,68	30,68	-	-----	+
16	1,94	0,113	13,784	75	2,44	3,91	34,24	68,92	9,65	19,20	-	-----	+
25	1,24	0,099	19,854	90	1,59	2,54	21,88	99,27	13,90	12,27	-	-----	+
35	0,89	0,095	25,953	115	1,17	1,86	15,71	129,77	18,17	8,81	-	-----	+
V 50	0,62	0,09	36,927	140	0,84	1,34	10,94	184,64	25,85	6,14	31,99	50	+
70	0,443	0,086	50,501	165	0,62	0,99	7,82	252,51	35,35	4,38	39,74	70	+
95	0,326	0,083	65,451	205	0,48	0,76	5,75	327,26	45,82	3,23	49,04	95	+
120	0,258	0,081	82,823	240	0,39	0,63	4,55	414,12	57,98	2,55	60,53	120	+
150	0,206	0,079	102,11	275	0,33	0,53	3,64	510,55	71,48	2,04	73,52	150	+
185	0,167	0,077	137,48	310	0,28	0,45	2,95	687,40	96,24	1,65	97,89	185	+
Мінімальні затрати, тис.грн										Змін	31,99		
Оптимальний переріз КЛ, мм^2										Хопт	50		

10

16

25

35

V 50

70

95

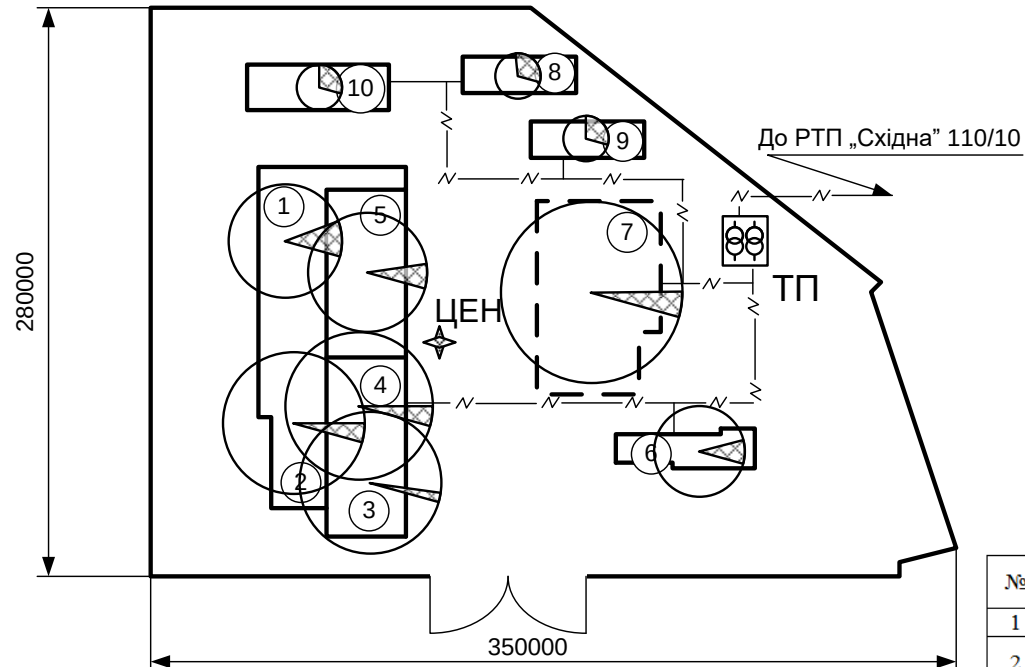
120

150

185

	10
	16
	25
	35
V	50
	70
	95
	120
	150
	185

План підприємства з електричними мережами



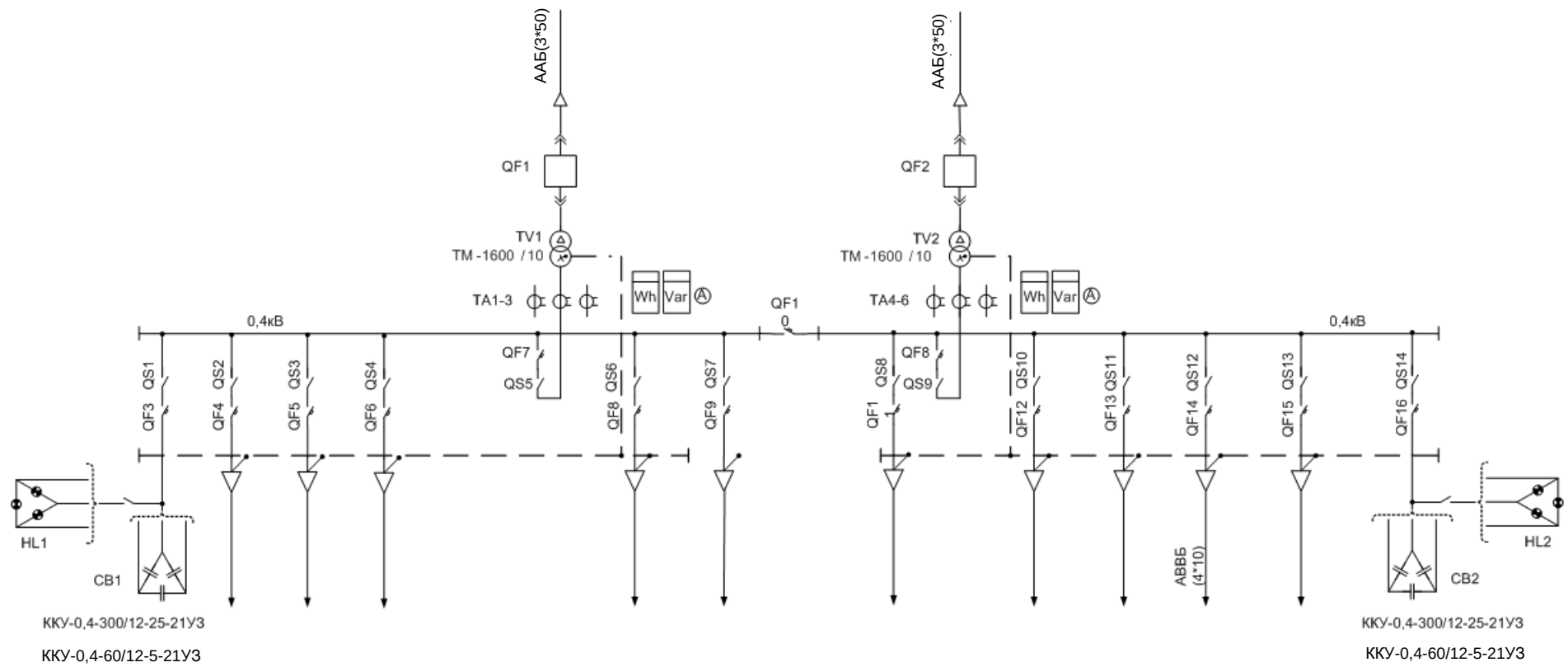
Умовні позначення

—~—~— - Кабельна траншея

■ ЦЕН - Центр електричних навантажень

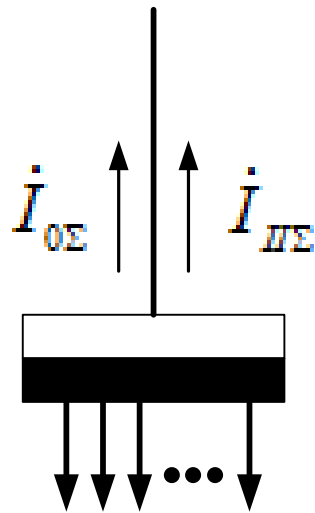
№	Найменування цехів та дільниць	<u>Рн</u> , кВт
1	Цех №4 (ковальсько-штампувальний цех)	260
2	Цех №5 (дрібно свердильний цех розгортки)	150
3	Дільниця №3 (термічний цех)	400
4	Дільниця №1	200
5	Дільниця №11	200
6	Заводоуправління	60
7	Цехи перспективного розширення підприємства	240
8	Склад №1	10
9	Склад №2	10
10	Побутове приміщення	10
11	Субабоненти	500

Однолінійна схема електропостачання



Оптимізація несиметрії режиму в розробленій системі електропостачання

Формування сумарних струмів окремих послідовностей



Лінії з несиметричним навантаженням

$$\dot{I}_{I\Sigma} = \sum_{i=1}^n \dot{I}_{I_i};$$

$$\dot{I}_{II\Sigma} = \sum_{i=1}^n \dot{I}_{II_i};$$

$$\dot{I}_{0\Sigma} = \sum_{i=1}^n \dot{I}_{0_i}.$$

Струм зворотної послідовності в магістральній лінії в залежності від фазування приєднаних ліній

Варіанти під'єднання чотирипровідної лінії до лінії живлення



Номер варіанту	Фаза живильної мережі		
	A	B	C
1	1	2	3
2	3	1	2
3	2	3	1
4	2	1	3
5	3	2	1
6	1	3	2

$$\dot{I}_{II} = \frac{1}{3} \cdot \begin{cases} (I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + I_2 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_2)} + I_3 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_3)}), & \text{вар. 1;} \\ (I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + I_1 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_1)} + I_2 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_2)}), & \text{вар. 2;} \\ (I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + I_3 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_3)} + I_1 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_1)}), & \text{вар. 3;} \\ (I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + I_1 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_1)} + I_3 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_3)}), & \text{вар. 4;} \\ (I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + I_2 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_2)} + I_1 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_1)}), & \text{вар. 5;} \\ (I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + I_3 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_3)} + I_2 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_2)}), & \text{вар. 6.} \end{cases}$$

**Струм нульової послідовності в магістральній лінії
в залежності від фазування приєднаних ліній**

$$\dot{I}_0 = \frac{1}{3} \cdot \begin{cases} (I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + I_2 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_2)} + I_3 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_3)}), & \text{вар. 1;} \\ (I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + I_1 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_1)} + I_2 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_2)}), & \text{вар. 2;} \\ (I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + I_3 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_3)} + I_1 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_1)}), & \text{вар. 3;} \\ (I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + I_1 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_1)} + I_3 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_3)}), & \text{вар. 4;} \\ (I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + I_2 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_2)} + I_1 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_1)}), & \text{вар. 5;} \\ (I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + I_3 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_3)} + I_2 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_2)}), & \text{вар. 6.} \end{cases}$$

**Струм прямої послідовності в магістральній лінії в
залежності від фазування приєднаних ліній**

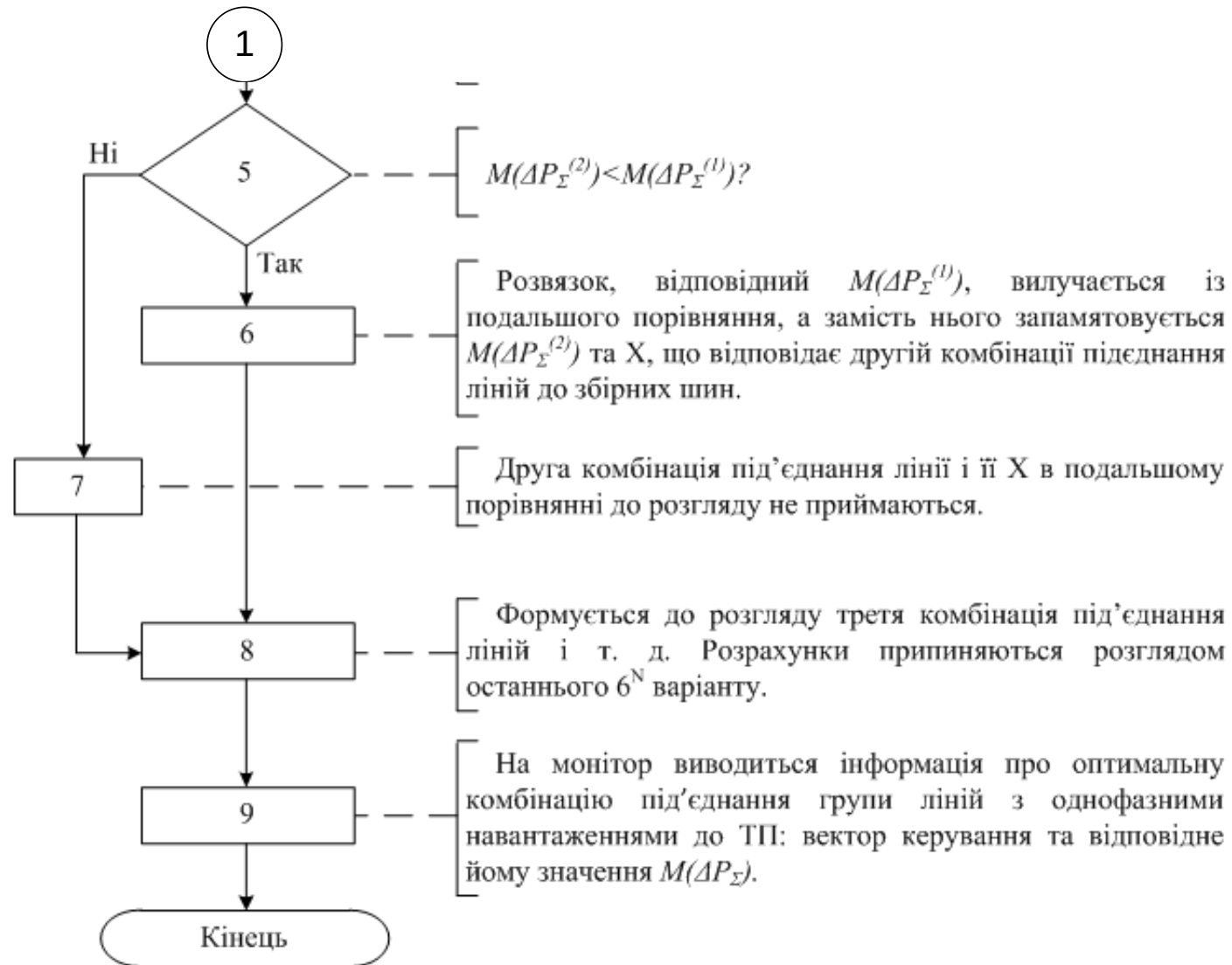
$$\dot{I}_I = \frac{1}{3} \cdot \begin{cases} (I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + a \cdot I_2 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_2)} + a^2 \cdot I_3 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_3)}), & \text{вар. 1;} \\ (I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + a \cdot I_1 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_1)} + a^2 \cdot I_2 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_2)}), & \text{вар. 2;} \\ (I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + a \cdot I_3 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_3)} + a^2 \cdot I_1 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_1)}), & \text{вар. 3;} \\ (I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + a \cdot I_1 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_1)} + a^2 \cdot I_3 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_3)}), & \text{вар. 4;} \\ (I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + a \cdot I_2 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_2)} + a^2 \cdot I_1 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_1)}), & \text{вар. 5;} \\ (I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + a \cdot I_3 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_3)} + a^2 \cdot I_2 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_2)}), & \text{вар. 6.} \end{cases}$$

**Математична модель внутрішнього симетрування відгалужень з
несиметричними електроприймачами при їх під'єднанні до магістральної лінії**

$$\left\{ \begin{array}{l} M(\Delta P_{\Sigma}) = (3 \cdot |\sum_{l=1}^{6N} M(\dot{I}_{II_l}) \cdot x_l|)^2 \cdot r_{2\Sigma} + 12 \cdot (|\sum_{l=1}^{6N} M(\dot{I}_{0_l}) \cdot x_l|)^2 \cdot r_{0\Sigma} \rightarrow \min \\ \sum_{l=1}^6 x_l = 1; \\ \sum_{l=7}^{12} x_l = 1; \\ \dots \dots \dots \\ \sum_{l=(6n-5)}^{6n} x_l = 1; \\ \dots \dots \dots \\ \sum_{l=(6N-5)}^{6N} x_l = 1; \\ x_l \in \{1,0\}, \quad l = 1, 2 \dots 6N. \end{array} \right.$$

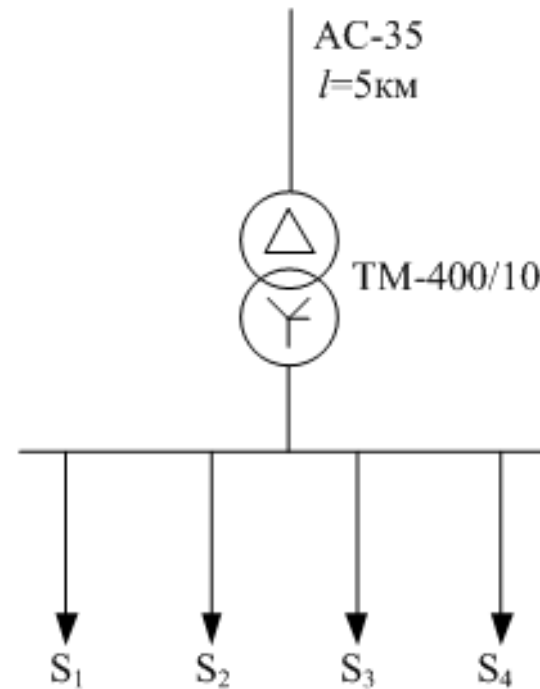
Обчислювальний метод для аналізу розробленої математичної моделі





ПРИКЛАД

Розрахувати оптимальний варіант під'єднання до РП 0,4 кВ ТП з трансформатором потужністю 400 кВА чотирьох ліній з несиметричними електроприймачами. ТП живиться лінією, яка виконана проводом АС-35 довжиною 5 км



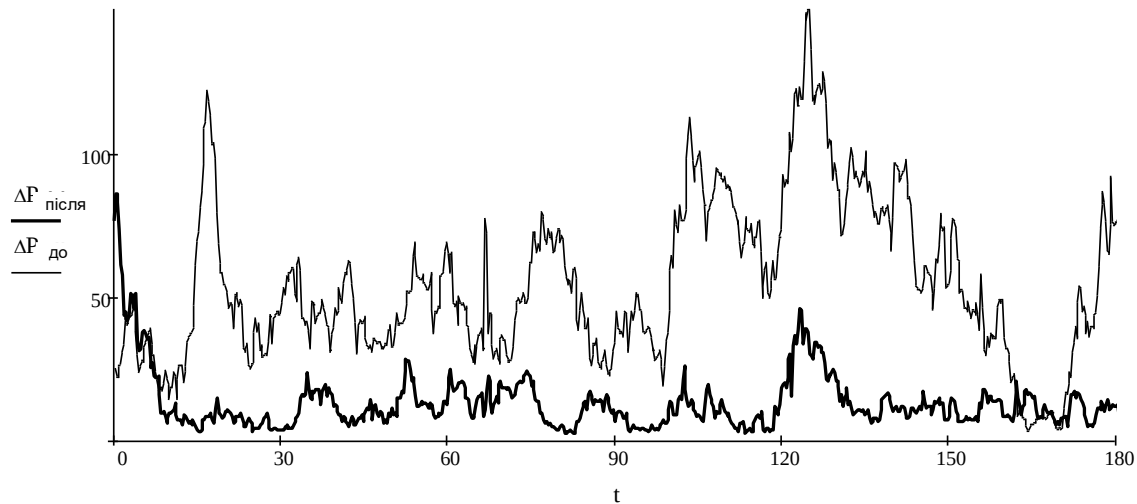
Отримані результати

Реалізований варіант фазування чотирипровідних ліній, що відходять, з деяким несиметричним навантаженням, який прийнято як опорне рішення:

$$X := (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)^T$$

Оптимальний вектор керування, що отриманий за результатами розрахунків за розробленим алгоритмом

$$X^T = (0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1)$$



ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Для умов ТОВ «Вінницький інструментальний завод» оптимальним варіантом за річними приведеними витратами є установка двотрансформаторної підстанції з трансформаторами потужністю 1600 кВА, а виконання живильної лінії кабелем ААБ (3*50).

2. Суттєве зниження активних втрат в трансформаторах та в лінії живлення з одночасним забезпеченням вимог енергосистеми що до споживання реактивної потужності до шин 0,4 кВ ТП слід під'єднати комплектні БСК серії ККУ-0,4 загальною потужністю 720 квар.

3. Інтегральним критерієм ефективності, який одразу оцінює вплив того або іншого технічного рішення в задачі внутрішнього симетрування ліній з однофазними навантаженнями є сумарні додаткові втрати активної потужності в елементах електричної мережі.

4. Визначити оптимальну комбінацію під'єднання ліній з однофазними навантаженнями до збірних шин ТП можна за розробленою математичною моделлю .

