

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему:

**«ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НАСЕЛЕНОГО ПУНКТУ З РОЗРОБКОЮ СИ-
СТЕМИ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ
НАВАНТАЖЕННЯ»**

Виконав: студент IV курсу
групи Ен – 41 СП спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
(шифр і назва спеціальності)

_____ Чабан Д.П.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник: _____ Левенюк В.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент: _____ Бабич М. І.
(прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський) рівень

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)
к.т.н., доцент Левонюк В. Р.
(вч. звання, прізвище, ініціали)

“ ____ ” _____ 202__ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Чабану Данилу-Павлу Остаповчу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Електропостачання населеного пункту з рохробкою системи компенсації реактивної потужності навантаження»

керівник роботи к.т.н., доцент Левонюк В. Р.

(наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП 123/к-с від 25.02.25 р.

2. Строк подання студентом роботи 13.06.25 р.

3. Вихідні дані

технічна документація, науково-технічна і довідкова література

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

Вступ

1 Характеристика об'єкта електропостачання

2 Розрахунок електричної мережі

3 Компенсація реактивної потужності

4 Охорона праці та навколишнього середовища

5 Техніко-економічні розрахунки

Висновки

Перелік джерел посилання

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

Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	Городецький І. М., к.т.н., доцент			

7. Дата видачі завдання 25.02.25 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Здійснення характеристики об'єкту електропостачання та обґрунтування теми кваліфікаційної роботи</i>	<i>27.11.2024 – 31.01.2025</i>	
2	<i>Здійснення обчислення параметрів електричної мережі</i>	<i>1.02.2025 – 17.03.2025</i>	
3	<i>Розрахунок параметрів релейного захисту трансформатора та лінії електропередачі</i>	<i>20.03.2025 – 21.04.2025</i>	
4	<i>Виконання структурно-функціонального аналізу процесу та розробка моделі травмонебезпечних та аварійних ситуацій</i>	<i>24.05.2025 – 5.05.2025</i>	
5	<i>Вивчення питання охорони довкілля та здійснення техніко-економічної оцінки прийнятих рішень</i>	<i>8.05.2025 – 19.05.2025</i>	
6	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	<i>22.05.2025 – 2.06.2025</i>	
7	<i>Завершення роботи в цілому</i>	<i>5.06.2025 – 14.06.2025</i>	

Студент

Чабан Д-П. О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Левенюк В. Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Чабан Д. О. «Електропостачання населеного пункту з розробкою системи компенсації реактивної потужності навантаження». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2025 р. 50 с текстової частини, 6 рисунків, 15 таблиць, 27 джерел посилання.

В даній кваліфікаційній роботі представлено проект системи електропостачання села Ков'ярі, яке розташоване у Львівській області. Всі технічні рішення які представлені в даному проекті розроблені в повній відповідності з чинними, нормами правилами і стандартами. Зроблено загальну характеристику та проведено аналіз в якому стані на даний момент перебуває електропостачання села Ков'ярі. Впроваджено систему компенсації реактивної потужності. Наведено обґрунтування щодо теми кваліфікаційної роботи. Зроблено розрахунки навантажень електричної мережі, розраховано потужність трансформатора. Розраховано перетин проводів для електричних мереж 10 кВ та 0,4 кВ. Розраховано струми коротких замикань. Опираючись на ці розрахунки розроблено систему релейного захисту. Розглянуто питання щодо охорони праці та захисту навколишнього середовища. Зроблений техніко-економічний розрахунок для подальшої експлуатації мережі. Даний розрахунок показує, що вартість передачі електричної енергії при експлуатації спроектованої електричної мережі становить 0,38 грн/кВт год.

Ключові слова: Трансформатор, освітлення, компенсація реактивної потужності, електрична мережа, навантаження, трансформаторна підстанція, лінії електропередачі.



ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	7
1.1 Загальна характеристика села Ков'ярі	7
1.2 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи.....	9
2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ.....	12
2.1 Розрахунок навантажень електричної мережі.....	12
2.2 Вибір потужності трансформатора та трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ.....	18
2.3 Розрахунок та вибір проводів для мереж 0,4 кВ та 10 кВ.....	20
2.4 Розрахунок аварійних режимів роботи мережі.....	22
2.5 Розрахунок параметрів релейного захисту.....	25
2.5.1 Релейний захист трансформатора 10/0,4 кВ.....	25
2.5.2 Релейний захист електричної мережі 0,4 кВ.....	25
2.5.3 Релейний захист електричної мережі 10 кВ.....	27
3 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	29
3.1 Концепція реактивної потужності.....	29
3.2 Розрахунок потужностей і ємностей конденсаторних батарей.....	32
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	35
4.1 Структурно-функціональний аналіз виникнення небезпечних ситуацій	35
4.2 Розрахунок блискавкозахисту для підстанції 10/0,4 кВ.....	38
4.3 Пожежна безпека.....	40
4.4 Охорона довкілля.....	41
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	43
5.1 Розрахунок втрат електроенергії в елементах мережі.....	44
5.2 Розрахунок вартості передачі електроенергії мережею.....	46
ВИСНОВКИ.....	47
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	48

ВСТУП

Сучасне суспільство значною мірою залежить від надійного та ефективного електропостачання, яке є основою для функціонування промислових підприємств, житлових будинків, закладів освіти, охорони здоров'я та інших важливих об'єктів критичної інфраструктури. В умовах зростання енергоспоживання та високих вимог до якості електричної енергії виникає необхідність у впровадженні інноваційних рішень для забезпечення стабільного енергопостачання.

Однією із важливих задач в електроенергетиці є компенсація реактивної потужності, яка виникає внаслідок використання електрообладнання з індуктивним та ємнісним характером навантаження. Наявність реактивної потужності в системі призводить до додаткових втрат електроенергії, зниження коефіцієнта потужності, перевантаження електромереж та підвищення витрат на електроенергію. Ефективне управління реактивною потужністю дає змогу знизити експлуатаційні витрати, підвищити стабільність електропостачання та подовжити термін служби обладнання [1].

Розробка ефективної системи електропостачання з компенсацією реактивної потужності сприятиме підвищенню надійності та економічності енергопостачання, що є важливим чинником для сталого розвитку населених пунктів та енергетичної безпеки країни в цілому.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи електропостачання населеного пункту з врахуванням заходів щодо компенсації реактивної потужності.

Завданнями кваліфікаційної роботи є:

1. Здійснити характеристику фактичного стану мережі електропостачання населеного пункту;
2. Здійснити розрахунок проекрованої мережі, вибір трансформаторів, провідників та розробити систему релейного захисту;
3. Розробити систему компенсації реактивної потужності;
4. Розглянути питання охорони праці та навколишнього середовища;
5. Здійснити техніко-економічні обчислення.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

1.1 Загальна характеристика села Ков'ярі

Село Ков'ярі розташоване в Львівському районі Львівської області, та належить до Солонківської сільської громади. Географічні координати: 49.7306619° північної широти та 24.006144° східної довготи. Згідно кодифікатора адміністративно-територіальних одиниць село Ков'ярі має код UA46060430080046272.

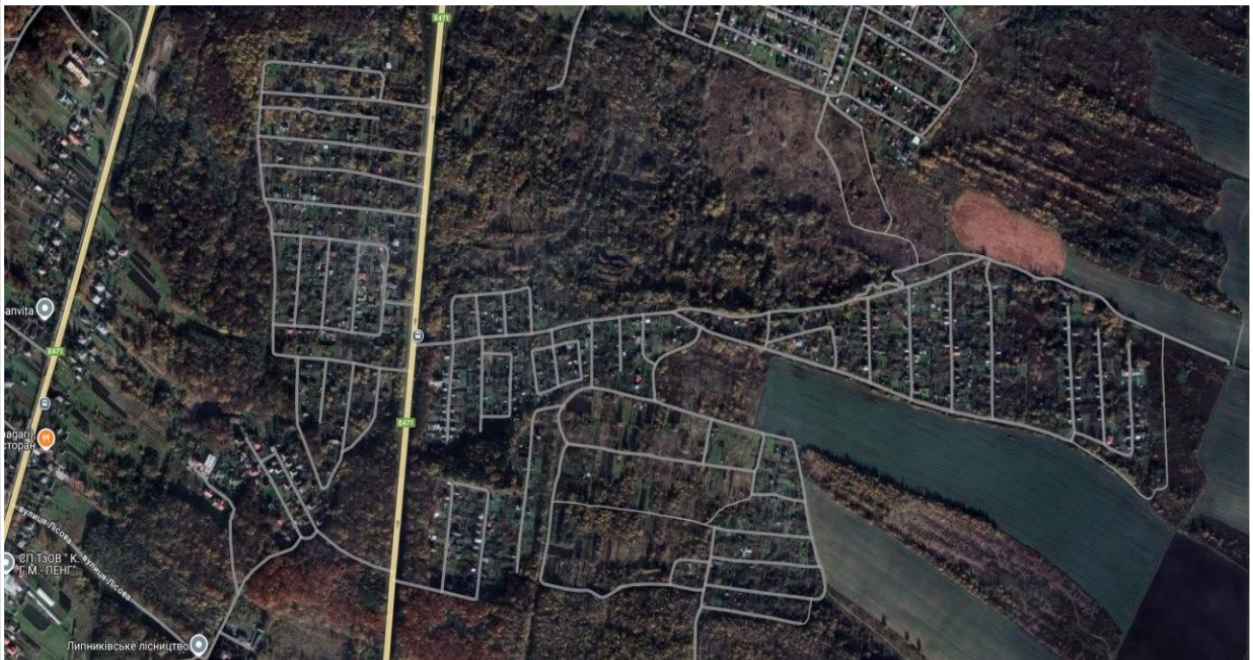


Рисунок 1.1 – Супутникове зображення карти с. Ков'ярі

Відстань до обласного центру, міста Львів, становить приблизно 10 км, що забезпечує зручний доступ до міської інфраструктури. Таке географічне розташування дає змогу легко здійснювати різного роду перевезення та організацію ведення господарства.

Середня висота над рівнем моря становить близько 289 метрів, що характерно для території Львівської області. На території села відсутні великі водойми,

На території села переважають сірі лісостепові опідзолені ґрунти на лесовидних суглинках, які займають близько 45% площі. Також поширені дерново-підзолисті та перегнійно-карбонатні ґрунти, що відзначаються високою

природною родючістю. Клімат помірно континентальний з теплим вологим літом і м'якою зимою. Середня річна температура становить $+8^{\circ}\text{C}$. Середня температура липня $+18^{\circ}\text{C}$, січня -4°C . Середньорічна кількість опадів коливається від 600 до 650 мм, з максимумом у літній період.

На переважній більшості територій цього регіону домінують сірі та дерново-підзолестні ґрунти, попри наявність інших типів ґрунтів. Середня температура протягом року для цього регіону становить 11°C , а протягом осінньо-весняного сезонів випадає 700 – 730 мм опадів.

Село Ков'ярі, належить до Солонківської сільської громади, невпинно розвивається та розростається. Площа села становить близько 2 км^2 . На території села розташовуються адміністративні, житлові, комерційні та об'єкти обслуговування громадян. У селі Ков'ярі зареєстровано низку юридичних осіб, що здійснюють різноманітну господарську діяльність:

- **ТОВ «ВІАМ», ТОВ «ХДС АСМА», ТОВ «ХК БАБІ БУРСА»** — діяльність готелів і подібних засобів тимчасового розміщення.
- **ТОВ «МАРІЛЮЗА»** — надання послуг таксі.
- **ТОВ «АУРЕС ТРЕВЕЛ ГЛОБАЛ»** — інша діяльність у сфері електрозв'язку.
- **ТОВ «ЯАСМІНДЗ»** — залізничний транспорт міжміського сполучення.
- **ТОВ «КАНЗА М.І.»** — виробництво хліба та хлібобулочних виробів.
- **ТОВ «АДЕМ АЛАА»** — вирощування зернових культур.
- **ТОВ «МУРДЖАН»** — діяльність ресторанів.
- **ТОВ «КА ЕР АШ ВОРЛД»** — надання в оренду автомобілів.
- **ТОВ «АК КОМПАНІ»** — оброблення даних та розміщення інформації на веб-вузлах.

Ці підприємства свідчать про активний розвиток малого та середнього бізнесу в селі, що сприяє економічному зростанню регіону.

Житлові будинки газифіковані і переважно мають тільки один поверх. Обігрів приміщень та приготування їжі здійснюється з використанням природного газу, частина жителів для обігріву будівель використовує твердопаливні котли та

використовують теплові колектори. Всі споживачі електричної енергії села належать до споживачів II та III категорії надійності електропостачання.

Електропостачання в селі Ков'ярі забезпечує ПрАТ «Львівобленерго», воно ж здійснює обслуговування ліній електропередач напругою 10 кВ. Трансформаторна підстанція напругою 10/0.4 кВ та лінії 0.4 кВ також знаходиться на балансі ПрАТ «Львівобленерго» відповідно ремонт та сервісне обслуговування проводить вище вказана організація

Трансформаторна підстанція села Ков'ярі заживляється повітряною лінією електропередачі 10 кВ довжиною 6 км від ПС 110/35/10 кВ №158 «Солонка»(Т-2) яка знаходиться неподалік села Солонка. Від трансформаторної підстанції живлення до споживачів забезпечується проводами типу А-35 які підвішані до траверс на опорах.

Трансформаторна підстанція типу КТП-м на напругу 10/0.4 кВ застарілого типу яка монтується на чотирьох пасинках відкритого типу перебуває у незадовільному стані. Захист від зовнішніх перенапруг забезпечується лише розрядниками вентильного типу РВО-10 від яких всі обленерго в Україні відмовляються. На самому трансформаторі типу ТМ потужністю 100 кВА видно підтікання оливи з гумових ущільнень. Колір баку трансформатора «вигорівший» що вказує на значний перегрів трансформатора внаслідок його перевантаження. Вуличне освітлення забезпечується лампами старого типу які споживаю багато електроенергії, а сама мережа освітлення також потребує модернізації. Облік електроенергії забезпечується електронними лічильниками активної енергії. Мережа по стороні НН трансформатора знаходиться у незадовільному стані. Вона потребує реконструкції внаслідок морального та технічного старіння. Трансформатор потребує заміни на більш потужній так як працює у режимі перевантаження тому що не розрахований на таку кількість споживачів.

З вказаних вище причин електропостачання села Ков'ярі потребує реконструкцію внутрішніх та зовнішніх мереж, заміну трансформаторної підстанції та вуличного освітлення.

1.2 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи

В умовах постійного зростання потреб населення в якісному та надійному електропостачанні, значному збільшенні в наслідок технічного прогресу електронних побутових пристроїв, різного опалювального обладнання та засобів різноманітної автоматизації, дуже актуальним є питання з модернізації та удосконалення існуючих електричних мереж у сільській місцевості. Основну увагу потребують комплектні трансформаторні підстанції, зовнішні та внутрішні мережі, а також системи вуличного та громадського освітлення.

В зв'язку з глобальними тенденціями в світі, такими як активна індустріалізація, зростання споживання енергоносіїв, комп'ютеризація побуту та адміністративного управління, а також перехід до енергоощадних технологій, у сільській енергетичній інфраструктурі виникає потреба у відповідному технічному переоснащенні. Застаріле обладнання, яке часто експлуатується понад нормативний термін, не відповідає сучасним вимогам до якості електроенергії, надійності та енерго-ефективності.

Трансформаторна підстанція, що забезпечує електропостачання села, як правило, має морально та фізично застаріле електротехнічне обладнання, з підвищеними втратами електроенергії та недостатнім рівнем автоматизації. Така обладнання не дозволяє ефективно реагувати на зміни навантаження, не забезпечує компенсації реактивної енергії та є вразливою до коротких замикань, перенапруг та інших аварійних ситуацій.

Зовнішні електричні мережі, які проходять повітряними або кабельними лініями, часто мають ушкоджену ізоляцію, недостатній переріз провідників, а також втрати електроенергії, що перевищують допустимі норми. В умовах зростання споживання електроенергії як серед населення, так і на соціальних

об'єктах, мережі працюють з перенавантаженням, що призводить до зниження напруги, втрати потужності, нестабільної роботи побутової техніки та зниження загального енергетичного комфорту населення.

Внутрішні мережі також часто не відповідають нормативним вимогам із технічної та пожежної безпеки. Електрощитові обладнані старими автоматами, відсутні пристрої захисту від перенапруг, немає сучасних засобів обліку та дистанційного моніторингу.

Окремої уваги потребує система вуличного освітлення. Більшість таких систем виконані на базі ламп розжарювання або ртутних світильників, які мають високий рівень енергоспоживання при низькому світловому ефекті. Недостатня кількість стовпів освітлення та застарілі світильники призводять до слабкої освітленості вулиць, зниження безпеки пішоходів і водіїв, зростання рівня злочинності у вечірній час.

Враховуючи ці фактори, реконструкція та технічне удосконалення електропостачання села є необхідним і доцільним заходом, який дозволить:

- **Підвищити надійність** та стабільність електропостачання як для побутових, так і для соціально-адміністративних споживачів;
- **Зменшити технічні втрати** в електричних мережах шляхом застосування провідників відповідного січення, сучасних ізоляційних матеріалів та оптимізації схем живлення;
- **Забезпечити компенсацію реактивної потужності** шляхом впровадження сучасних автоматизованих установок, що дозволить покращити коефіцієнт потужності і зменшити навантаження на трансформатор;
- **Впровадити енергоощадні технології**, зокрема вуличне освітлення на основі LED-світильників з автоматизованим керуванням (датчики руху, таймери, інтелектуальні системи);
- **Підвищити рівень безпеки** електроустановок відповідно до нормативів ДСТУ та ПУЕ.

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

2.1 Розрахунок навантажень електричної мережі

Електричну мережу села Ков'ярі розраховуємо з урахуванням кількості житлових будинків, адмін будинків, магазинів, закладів харчування та вуличного освітлення. Село живиться з однієї трансформаторної підстанції кількість живлячих ліній по стороні НН низької напруги (0.4 кВ) трансформаторної підстанції не повинно перевищувати 4 фідерів. Саму трансформаторну підстанцію напругою 10/0.4 кВ розташовуємо на території села найближче до потужних споживачів та враховуємо той факт що довжина самих ліній електропередач не повинна перевищувати 500 м. для запобігання понаднормових втрат напруги в лінії для кінцевих споживачів. Зовнішнє освітлення будинків приймаємо у розмірі 250 Вт а при освітленні вулиць питому потужність приймаємо у розмірі 10 Вт/м залежно від довжини вулиці. Використовувати будем сучасні світлодіодні лампи.

Розрахунок навантажень вузлів здійснюємо за виразами [5]:

$$P_{\text{дн}} = \sum P_{i \text{ дн}} \cdot k_0 \quad (2.1)$$

$$P_{\text{вч}} = \sum P_{i \text{ вч}} \cdot k_0 \quad (2.2)$$

$$P_{\Sigma} = P_{\text{більше}} + \Delta P(P_{\text{менше}}) \quad (2.3)$$

$$P_{\text{дн}} = k_0 \cdot k_y \cdot n_6 \cdot P_6 \quad (2.4)$$

де $P_{\text{вч}}$, $P_{\text{дн}}$ – вечірній та денний максимуми електричних навантажень; P_6 – навантаження житлових будинків; k_0 – коефіцієнт одночасності; k_y – коефіцієнт участі навантаження об'єкта у мережі (у денному максимумі –0,3; у вечірньому максимумі –1.0); n_6 – кількість будинків i - ї ділянки електричної мережі.

За виразом (2.4) на прикладі електричного вузла 1 розраховуємо, навантаження та одержуємо наступні значення:

$$P_{\text{дн}} = 0,6 \cdot 0,3 \cdot 5 \cdot 1,8 = 1,7 \text{ кВт}, \quad P_{\text{вч}} = 0,6 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 1,8 = 5,4 \text{ кВт}.$$

Решту розрахунків вузлів електричних навантажень здійснюються таким самим чином, та отримані результати електричних навантажень вузлів електричних навантажень зводимо до таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Результати розрахунків електричних навантажень вузлів

Вузол	1	2	3	4	5	6	7
$P_{дн}, \text{кВт}$	1,7	1,7	2	1,7	1,7	16,2	4,5
$P_{вч}, \text{кВт}$	5,4	5,4	6,5	5,4	5,4	8,7	11,8
Вузол	8	9	10	11	12	13	14
$P_{дн}, \text{кВт}$	2	2	6,2	1,7	1,7	1,7	1,7
$P_{вч}, \text{кВт}$	6,5	6,5	12	5,4	5,4	5,4	5,4

Згідно плану села Ков'ярі та даних розрахунків з таблиці 2.1 побудуємо розрахункову схему вузлів електричних навантажень електричної мережі 0,4 кВ. Ця схема електричної мережі представлена на рисунку 2.1.

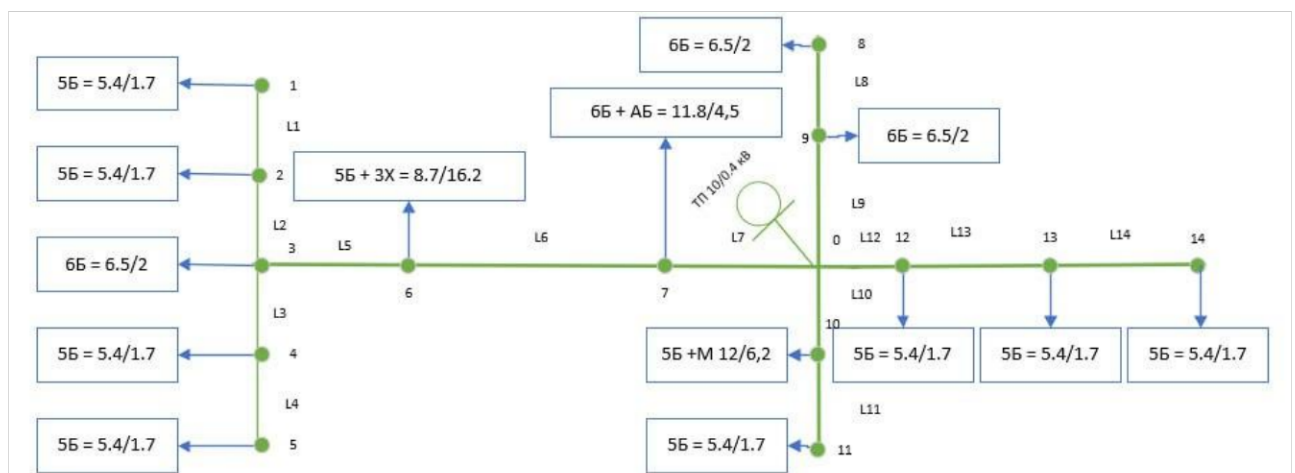


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема вузлів навантажень мережі із зазначеними електричними навантаженнями

Рисунок 2.1 показує підключення об'єктів електропостачання до електричних вузлів навантажень. Також, показана характеристика цих вузлів, яка вказує на число підключених об'єктів та денні і вечірні активні навантаження через дробову риску.

Плануємо, що зі сторони низької напруги НН трансформатора 0,4 кВ буде під'єднано два відгалуження: **А** – вузли 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; **Б** – вузли 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 а також електрична мережа для вуличного освітлення, яка на схемі рисунка 2.1 окремо не зазначається, оскільки її конфігурація аналогічна до схеми основної електричної мережі 0,4 кВ.

Проведем розрахунки навантаження трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ спричинене житловими будинками за виразом [6]:

$$P_{\Sigma 6} = \sum k_0 \cdot k_y \cdot n_6 \cdot P_6, \quad (2.5)$$

$$P_{\Sigma \text{бдн}} = 23,9 \text{ кВт}, P_{\Sigma \text{бвч}} = 79.9 \text{ кВт}.$$

де $P_{\text{б}}$ – електричне навантаження житлових будинків; $n_{\text{б}}$ – кількість будівель i -ї ділянки; k_0 – коефіцієнт одночасності; k_y – коефіцієнт участі.

Проведем розрахунок електричного навантаження на трансформаторну підстанцію 10/0,4 кВ спричинене комунальними об'єктами за виразом:

$$P_k = k_0 \cdot (P_M + P_{AB} + P_{3X}) \quad (2.6)$$

$$P_{\text{кдн}} = 0,75 \cdot (21,6) = 16,2 \text{ кВт}, \quad P_{\text{квч}} = 0,35 \cdot (15,2) = 5,32 \text{ кВт}.$$

Проведем розрахунок навантаження вуличного освітлення воно залежить від ширини і типу покриття вулиці, питому потужність вуличного освітлення приймають в межах 3...13 Вт на 1 м довжини вулиці, і для заданої конфігурації населеного пункту ця величина дорівнює 10 Вт на 1м:

$$P_{\text{во}} = P_{\text{ос}} \cdot l_{\text{заг}} \quad (2.7)$$

$$P_{\text{во}} = 0.01 \cdot 1500 = 15 \text{ кВт}.$$

де $l_{\text{заг}}$ – сумарна довжина всіх вулиць села; $P_{\text{ос}}$ – питома електричне навантаження на 1 м вулиці;

Проведем розрахунок значення електричного навантаження, яке буде створюватися на трансформаторну підстанцію 10/0,4 кВ зовнішнім освітленням комунальних об'єктів та будинків за виразом:

$$P_{\text{бо}} = n_{\text{б}} \cdot P_{\text{осб}} \quad (2.8)$$

$$P_{\text{бо}} = 77 \cdot 0,25 = 19,25 \text{ кВт}.$$

де $n_{\text{б}}$ – кількість житлових та комунальних об'єктів; $P_{\text{осб}}$ –значення потужності, яке необхідне для зовнішнього освітлення об'єкта.

Проведем розрахунок загального значення електричного навантаження, створеного освітленням, на трансформаторну підстанцію 10/0,4 кВ за виразом [7]:

$$P_o = P_{\text{во}} + P_{\text{бо}} \quad (2.9)$$

$$P_o = 15 + 19,25 = 34,25 \text{ кВт}.$$

Проведем розрахунок сумарного електричного навантаження на трансформаторну підстанції 10/0,4 кВ шляхом додавання денних та вечірніх навантажень усіх об'єктів електроспоживання з урахуванням навантаження, яке необхідне для зовнішнього та вуличного освітлення за виразом:

$$P_{\Sigma \text{ дн}} = P_{\Sigma \text{ бдн}} + P_{\text{кдн}}, \quad P_{\Sigma \text{ вч}} = P_{\Sigma \text{ бвч}} + P_{\text{квч}} + P_o \quad (2.10)$$

$$P_{\Sigma \text{ дн}} = 23,9 + 16,2 = 40,1 \text{ кВт}, \quad P_{\Sigma \text{ вч}} = 79,9 + 5,32 + 34,25 = 119,47 \text{ кВт}.$$

Повні розрахункові навантаження визначаємо, на основі значень активних потужностей навантажень, шляхом врахування коефіцієнтів потужності

$$\cos \varphi_{\text{дн}} = 0,9, \cos \varphi_{\text{вч}} = 0,92:$$

$$S_{\Sigma \text{ дн}} = \frac{P_{\Sigma \text{ дн}}}{\cos \varphi_{\text{дн}}}, \quad S_{\Sigma \text{ вч}} = \frac{P_{\Sigma \text{ вч}}}{\cos \varphi_{\text{вч}}} \quad (2.11)$$

$$S_{\Sigma \text{ дн}} = \frac{40,1}{0,9} = 44,5 \quad S_{\Sigma \text{ вч}} = \frac{119,47}{0,92} = 129,8$$

Для визначення розрахункових навантажень ліній складемо попередньо таблицю під'єднання навантажень до різних ліній мережі. Кожний стовпчик таблиці відповідає порядковому номеру лінії і вказує кількість будинків та об'єктів комунального призначення, а також відповідно суму максимальних активних навантажень, які живить ця лінія. Така таблиця дозволяє визначити розрахункові навантаження кожної з ліній електричної мережі 0,4 кВ за наведеною методикою.

Таблиця 2.2 – Навантаження ділянок ліній електричної мережі 0,4 кВ

Лінія електропередачі	1	2	3	4	5	6	7
К-сть будинків на ділянці	5	10	10	5	26	31	37
Сумарне навантаження, кВт (вечір)	5,4	10,8	10,8	5,4	28,1	33,5	40
К-сть об'єктів електропостачання	0	0	0	0	0	1	2
Сумарне навантаження, кВт (день)	0	3	15	0	0	3,6	8,6
Сумарне навантаження, кВт (вечір)	0	7	5	0	0	14,6	17
Лінія електропередачі	8	9	10	11	12	13	14
К-сть будинків на ділянці	6	12	10	5	15	10	5
Сумарне навантаження, кВт (вечір)	6,5	13	10,8	5,4	16,2	10,8	5,4
К-сть об'єктів електропостачання	0	0	1	0	0	0	0
Сумарне навантаження, кВт (день)	0	0	6,6	0	0	0	0
Сумарне навантаження, кВт (вечір)	0	0	4,6	0	0	0	0

Наведені результати у таблиці 2.2 активних потужностей електричного навантаження тільки зазначають загальне активне навантаження, що підключене до цих ділянок лінії електропередач. До розрахунку активних навантажень кожної ділянки лінії електропередач підійдемо аналогічним чином, як до розрахунку

активних навантажень трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ. Для прикладу, здійснимо розрахунок, денного активного електричного навантаження ділянки лінії електропередач № 1, шляхом додавання розрахункових електричних навантажень усіх об'єктів електроспоживання за виразом:

$$P = k_0 \cdot k_y \cdot n_6 \cdot P_6 + P_K, \quad (2.9)$$

$$P_{1\text{дн}} = 0,6 \cdot 0,3 \cdot 5 \cdot 1,8 = 1,7 \text{ кВт}, \quad P_{1\text{вч}} = 0,6 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 1,8 = 5,4 \text{ кВт}.$$

Результати заносим до таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Розраховані повні потужності електричних навантажень ділянок мережі 0,4 кВ							
ЛЕП	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
$P_{\text{дн}}$, кВт	1.7	3.4	3.4	1.7	8.8	25	29.5
$P_{\text{вч}}$, кВт	5.4	10.8	10.8	5.4	28.1	36.8	48.6
ЛЕП	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14
$P_{\text{дн}}$, кВт	2	4	7.9	1.7	5.1	3.4	1.7
$P_{\text{вч}}$, кВт	6.5	13	17.4	5.4	16.2	10.8	5.4

Враховуючи зовнішнє освітлення будинків та об'єктів комунального призначення, потрібно до вечірніх навантажень додати відповідні значення навантаження освітлення залежно від кількості будинків та об'єктів комунального призначення, які живить ця лінія. Так, наприклад, для розглянутої лінії 1 отримаємо:

$$P_{1\text{вч}0} = P_{1\text{вч}} + (n_6 + n_0) \cdot P_{60} = 5,4 + 5 \cdot 0,25 + 0,01 \cdot 100 = 7,65 \text{ кВт}.$$

У таблиці 2.4. наведено розрахункові активні навантаження мережі 0,4 кВ з врахуванням зовнішнього освітлення.

Таблиця 2.4 – Розрахункові активні навантаження мережі 0,4 кВ

ЛЕП	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
$P_{\text{дн}}$, кВт	1.7	3.4	3.4	1.7	8.8	25	29.3
$P_{\text{вч}0}$, кВт	7.65	15.3	15.3	7.65	39.6	50.8	65.35
ЛЕП	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14
$P_{\text{дн}}$, кВт	2	4	7.9	1.7	5.1	3.4	1.7
$P_{\text{вч}0}$, кВт	9	18	22.15	7.65	22.95	15.3	7.65

Повні розрахункові навантаження мережі 0,4 кВ визначимо за значеннями відповідних величин коефіцієнтів потужності для денних та вечірніх навантажень мережі за формулою:

$$S_{\Sigma 1 \text{ дн}} = \frac{P_{\Sigma \text{ дн}}}{\cos \varphi_{\text{дн}}}, \quad S_{\Sigma 1 \text{ вч}} = \frac{P_{\Sigma \text{ вч}}}{\cos \varphi_{\text{вч}}}. \quad (2.10)$$

$$S_{\Sigma 1 \text{ дн}} = \frac{P_{\Sigma \text{ дн}}}{\cos \varphi_{\text{дн}}} = \frac{1,7}{0,9} = 1,7 \text{ кВт}, \quad S_{\Sigma 1 \text{ вч}} = \frac{P_{\Sigma \text{ вч}}}{\cos \varphi_{\text{вч}}} = \frac{7,65}{0,92} = 8,3 \text{ кВт}$$

Всі інші розрахунки повних розрахункових навантажень мережі 0,4 кВ проводимо аналогічно і результати заносимо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахункові повні навантаження мережі 0,4 кВ

ЛЕП	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
$S_{\Sigma \text{ дн}}, \text{ кВт}$	1.9	3.8	3.8	1.9	9.8	27.8	32.8
$S_{\Sigma \text{ вч}}, \text{ кВт}$	8.3	16.6	16.6	8.3	43	55.2	71
ЛЕП	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14
$S_{\Sigma \text{ дн}}, \text{ кВт}$	2.2	4.4	8.8	1.9	5.7	3.8	1.9
$S_{\Sigma \text{ вч}}, \text{ кВт}$	9.8	19.6	24	8.3	24.9	16.6	8.3

Розрахункові реактивні навантаження ліній мережі 0,4 кВ визначено за виразом:

$$Q_i = P_i \tan \varphi \quad (2.11)$$

Результати обчислень реактивних навантажень ліній мережі 0,4 кВ заносимо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Розрахункові реактивні навантаження мережі 0,4 кВ

ЛЕП	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
$Q_{\text{дн}}, \text{ кВт}$	0.85	1.7	1.7	0.85	4.31	12.16	14.74
$Q_{\text{вч } 0}, \text{ кВт}$	3.22	6.44	6.44	3.22	16.76	21.6	27.76
ЛЕП	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14
$Q_{\text{дн}}, \text{ кВт}$	0.92	1.84	3.88	0.85	2.55	1.7	0.85
$Q_{\text{вч } 0}, \text{ кВт}$	3.88	7.76	9.24	3.22	9.66	6.44	3.22

Струмів розрахункові навантаження мережі 0,4 кВ визначено за виразом:

$$I_i = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (2.12)$$

У таблиці 2.7 представлено розраховані струми, що протікають відповідними ділянками електричної мережі 0,4 кВ.

Таблиця 2.7 – Розраховані струми ділянок електричної мережі 0,4 кВ

ЛЕП	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
$I_{\text{дн}}, \text{ А}$	2.89	5.77	5.77	2.89	14.89	42.24	49.83
$I_{\text{вч } 0}, \text{ А}$	12.61	25.22	25.22	12.61	65.33	83.87	107.87
ЛЕП	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14
$I_{\text{дн}}, \text{ А}$	3.34	6.69	13.37	2.89	8.66	5.17	2.89
$I_{\text{вч } 0}, \text{ А}$	14.89	29.78	36.46	12.61	37.83	25.22	12.61

2.2 Вибір потужності трансформатора та трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ

Величину потужності трансформатора 10/0,4 кВ будемо вибирати так, щоб $S_{\text{ном}} k_n \geq S_{\text{розр}}$, де $S_{\text{розр}}$ – розрахункова повна потужність на шинах 0,4 кВ трансформаторної підстанції; $S_{\text{ном}}$ – номінативна потужність трансформатора; k_n – коефіцієнт допустимого перевантаження або запасу потужності трансформатора. Враховуючи, що у селі відсутні споживачі I категорії за надійністю електроживлення та враховуючи перспективне збільшення навантаження на трансформатор, вибираємо значення коефіцієнта запасу k_n рівним 0,9.

Так як вечірнє навантаження є значно більшим від денного, то ми беремо його за розрахункове при виборі трансформатора ($S_{\text{розр}} = S_{\Sigma \text{вч}} = 129,8$ кВА).

Розраховуємо потрібну потужність трансформатора 10/0,4 кВ за виразом:

$$S_T \geq \frac{S_{\text{розр}}}{0,9}, \quad S_T \geq \frac{129,8}{0,9} = 144,2 \text{ кВА.} \quad (2.13)$$

з довідникової літератури [11] вибираємо трансформатор з напругою вищої сторони 10 кВ –ТМ 160 10/0.4 кВА. По відношенню до номінальної напруги вищої сторони трансформатора, цей трансформатор має п'ять відгалужень – 0; $\pm 2,5$ %; ± 5 %. Здійснення перемикачів відгалужень можливе тільки при відімкнених обмотках трансформатора від живлення за допомогою пристрою перемикачів обмоток без збудження трансформатора (ПБЗ). У таблиці 2.6 представлено параметри вибраного трансформатора

Таблиця 2.6 – Параметри трансформатора ТМ-160-10/0.4

$S_{\text{ном}},$ кВА	$U_{\text{ВН}},$ кВ	$U_{\text{НН}},$ кВ	Схеми та групи з'єднань трансформатора	$\Delta P_{\text{НХ}}$ кВт	$\Delta P_{\text{КЗ}},$ кВт	$u_{\text{КЗ}},$ %	$I_{\text{НХ}},$ %
160	10	0,4	Y/Y– 0	0,41	1,65	4,5	2,0

Розраховуємо повний опір трансформатора, який приведений до вищої напруги трансформатора за виразом [10]:

$$Z_T = \frac{U_{\text{КЗ}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{ВНОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}} \cdot 10^{-3}} \quad (2.14)$$

$$z_T = \frac{U_{K3}}{100} \cdot \frac{U_{B_{HOM}}^2}{S_{HOM} \cdot 10^{-3}} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{10^2}{160 \cdot 10^{-3}} = 28,12 \text{ Ом}$$

Розраховуємо активний опір трансформатора, який приведений до вищої напруги трансформатора за виразом:

$$r_T = P_{K3} \cdot \frac{U_{B_{HOM}}^2}{S_{HOM}^2 \cdot 10^{-3}} \quad (2.15)$$

$$r_T = P_{K3} \cdot \frac{U_{B_{HOM}}^2}{S_{HOM}^2 \cdot 10^{-3}} = 1,65 \cdot \frac{10^2}{160^2 \cdot 10^{-3}} = 6,47 \text{ Ом};$$

Розраховуємо реактивний опір трансформатора, який приведений до вищої напруги трансформатора за виразом:

$$x_T = \sqrt{z_T^2 - r_T^2} \quad (2.16)$$

$$x_T = \sqrt{z_T^2 - r_T^2} = \sqrt{28,12^2 - 6,47^2} = 27,36 \text{ Ом}.$$

Для проекрованої електричної мережі вибираємо комплектну трансформаторну підстанцію КТП 160-10/0.4 напругою 10/0,4 кВ. Вибрана комплектна трансформаторна підстанція реалізована у блочно-модульному виконанні зі сторони ВН 10 кВ входять запобіжники ПКТ та обмежувачі перенапруги ОПН-10, роз'єднювач РЛНД(з)-10 з заземляючими ножами та вентильні розрядники РВО-10 знаходиться на найближчій високовольтній опорі, силовий трансформатор напругою 10/0,4 кВ та потужністю 160 кВА. По стороні НН низької напруги 0,4 кВ трансформатора розміщено рубильник РЕ19-400А, до нижніх ножів якого під'єднано обмежувачі перенапруг ПН-0.4. Для проведення обліку електроенергії, тут під'єднано три трансформатори струму Т.066 400/5 05S до яких під'єднано трифазний лічильник. Також встановлено трансформатор струму в фазі А для майбутньої конденсаторної установки АККУ. На зовнішній стіні КТП прикріплено ящик ВО вуличного освітлення. Захист мережі електричного освітлення має виконуватися запобіжниками. Захист від коротких замикань та автоматичне вимикання усіх ліній електропередачі забезпечують автоматичні вимикачі.

2.3 Розрахунок та вибір проводів для мереж 0,4 кВ та 10 кВ

Розрахунок типів і перерізів проводів 0,4 кВ та 10 кВ здійснюємо із врахуванням максимально допустимих втрат напруги. Відповідно до Правил улаштування електроустановок, провідники магістралей ліній 0,4 кВ повинні вибиратися так, щоб чисельність проводів із різним січенням була мінімальною у межах однієї магістралі. Щоб вибрати проводи магістралей скористаємося методикою, яка наведена в [13]. В усіх частинах магістралей коефіцієнти потужності однакові, тому втрати напруги у них можемо розрахувати використовуючи такий вираз:

$$\Delta U = \sqrt{3}(r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) \sum_{i=1}^n I_i l_i = \Delta U_a + \Delta U_p, \quad (2.17)$$

де r_0 , x_0 – активні і реактивні опори проводів ділянок ліній; n – чисельність ділянок магістралей ліній; ΔU_a , ΔU_p – активна та реактивна складові спаду напруги на ділянках магістралей; I_i , l_i – значення струму та довжини ділянок магістралей ліній.

Оскільки переріз проводів несуттєво впливає на величину реактивного опору проводів і його значення знаходиться в межах 0,0003...0,00035 Ом/м, ми прийняли рішення на початковому етапі прийняти його незмінним (сталим) для усіх ділянок ліній електропередач, зі значенням 0,00035 Ом/м. Для прикладу, покажемо вибір перерізу проводів для ділянки лінії електропередачі 0 – 6. Втрати напруги у цій ділянці лінії електропередачі в мережі 0,4 кВ, не повинна бути більшою за 5 % (0,019 кВ).

Розраховуємо значення реактивної складової падіння напруги на ділянці лінії електропередачі 0 – 8 за виразом:

$$\Delta U_{p08} = \frac{x_0}{U_{ном}} (Q_1 \cdot l_1 + Q_2 \cdot l_2 \dots) \quad (2.18)$$
$$\Delta U_{p08} = \frac{0,35}{0,38} \cdot (3,88 \cdot 0,1 + 7,76 \cdot 0,1) = 1,07 \text{ В}$$

Максимально-допустиму вартість активної складової падіння напруги розраховуємо за виразом:

$$\Delta U_{a02д} = \Delta U_d - \Delta U_{p02} = 19 - 1,07 = 17,93 \text{ В} \quad (2.19)$$

Розраховуємо перерізи проводів для ділянки магістралі 0 – 8 за виразом:

$$F_{08\text{розр}} = \frac{(9 \cdot 0,1 + 18 \cdot 0,1)}{0,380 \cdot 0,01793 \cdot 32} = 12,38 \text{ мм}^2$$

Відповідно до довідника, для магістралі 0 – 8 ми вибрали алюмінієвий провід А-25.

Аналогічні розрахунки проводимо для решти магістралей та визначаємо значення перерізів проводів. Результати розрахунків представлено у таблиці 2.7.

Магістраль	ΔU , В
0 – 1	18,4
0 – 4	18,3
0 – 8	6,7
0 – 11	8,1
0 – 14	7,6

Таблиця 2.7 – Втрати напруги у магістралях мережі 0,4 кВ

Використовуючи довідникові матеріали [13], проводимо вибір перерізів проводів для мережі 0,4 кВ. Результати вибору перерізу проводів представлено у таблиці 2.8.

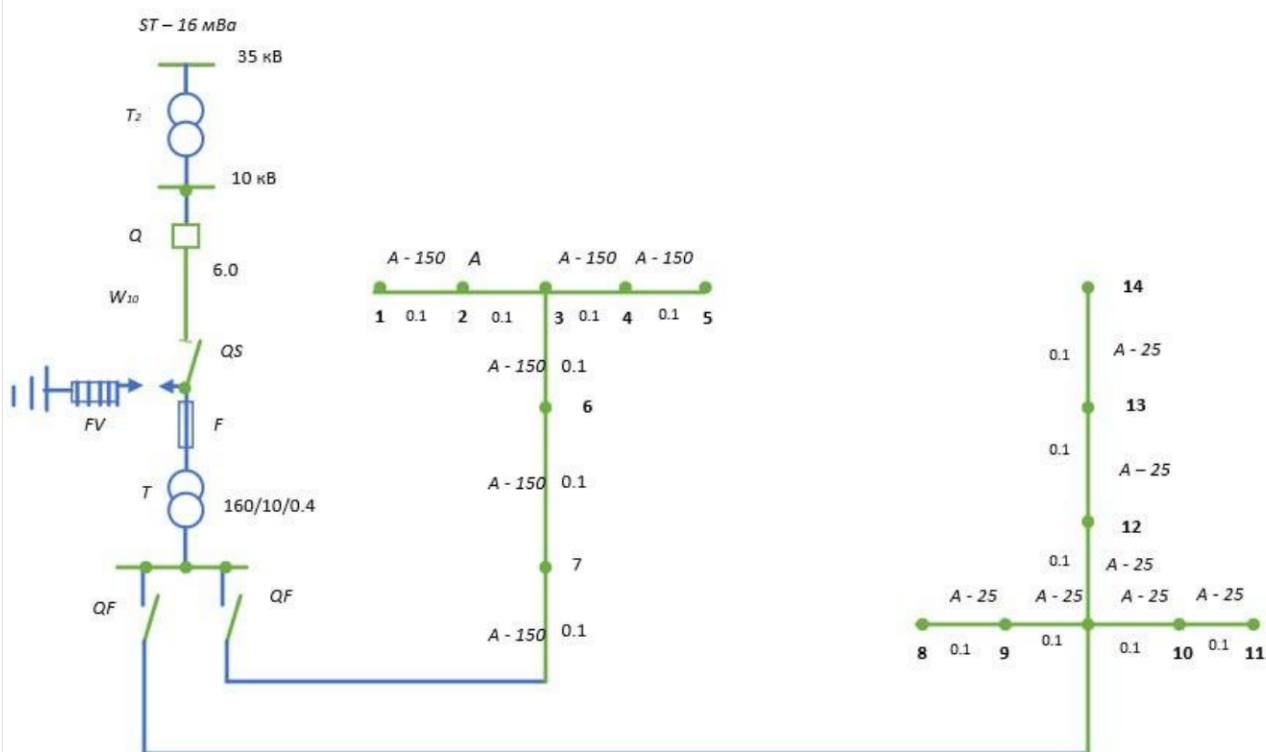


Рисунок 2.2 – Принципова схема проектованої електричної мережі

Таблиця 2.8 – Вибрані проводи та їх параметри для мережі 0,4 кВ

Лінія мережі 0,4 кВ	Марка проводу	r_0 , Ом/км	X_0 , Ом/км	Доп. струм, А
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	А-25	1,2	0,319	136
8, 9, 10, 11, 12, 13, 14	А-150	0,195	0,134	450

За такою ж послідовністю виберемо переріз проводів лінії 10 кВ за умови, що допустима втрата напруги тут повинна складати 4% ($10000 \times 0,04$ В). В результаті отримаємо розрахунковий переріз:

$$\Delta U_p^{10} = \frac{0,35}{10} \cdot (129 \cdot 6) = 27,09 \text{ В},$$

$$\Delta U_{ад}^{10} = 400 - 27,09 = 372,91 \text{ В},$$

$$F_{розр}^{10} = \frac{129 \cdot 6}{10 \cdot 0,37291 \cdot 32} = 6,53 \text{ мм}^2.$$

Згідно результатів обчислень ми отримали переріз $F_{розр}^{10} = 6,53 \text{ мм}^2$. Проте, відповідно Правил експлуатації електроустановок, мінімально-допустимий, за механічною-міцністю, переріз алюмінієвого проводу зі стальним сердечником для ліній електропередач 10 кВ не може бути меншим за 25 мм². Відтак, для лінії електропередачі 10 кВ вибираємо провід АС-25. Параметри вибраного проводу показано у таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Параметри проводу АС-25 для електричної мережі 10 кВ

Лінія мережі 10 кВ	Марка проводу	r_0 , Ом/км	X_0 , Ом/км	Доп. струм, А
ТП 35 кВ – ТП 10 кВ	АС-25	1,146	0,377	135

Обчислені втрати напруги для проводу АС–25 у лінії електропередачі 10 кВ для режиму максимальних навантажень становитимуть 39,9 В (0,1 %).

2.4 Розрахунок аварійних режимів роботи мережі

Для визначення струмів коротких замикань на стороні 10 кВ під час к.з. у еквівалентний опір системи 110 кВ - $x_s = \frac{U_{ном}^2}{S_{кз}} = \frac{10^2}{500} = 0,2 \text{ Ом};$

реактивний опір трансформатора 110/10 кВ - $x_{T1} = \frac{U_{кз} \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{T1}} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{10^2}{8} = 0,56 \text{ Ом};$
 $(r_{T1} \approx 0);$

опори лінії 10 кВ - $x_{Л10} = 2,07 \text{ Ом}; r_{Л10} = 7,2 \text{ Ом};$

опори трансформатора 10/0,4 кВ - $x_T = 27,36 \text{ Ом}; r_T = 6,47 \text{ Ом}.$

Сумарний опір і струми для трифазного і двофазного к.з. на початку лінії 10 кВ (точка 0):

$$z_{\Sigma 0} = x_s + x_{T1} = 0,2 + 0,56 = 0,76 \text{ Ом},$$

$$I_{K0}^{(3)} = \frac{1000 \cdot U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma 0}} = \frac{1000 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 0,76} = 7598,8 \text{ А},$$

$$I_{K0}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{K0}^{(3)} = 0,87 \cdot 7598,8 = 6610,9 \text{ А}.$$

Сумарний опір і струми з боку обмотки вищої напруги трансформатора 10/0,4 кВ при трифазному і двофазному к.з. у точці а:

$$z_{\Sigma a} = \sqrt{(x_s + x_{T1} + x_{Л10})^2 + r_{Л10}^2} = \sqrt{(0,2 + 0,56 + 2,07)^2 + 7,02^2} = 7,57 \text{ Ом},$$

$$I_{Ka}^{(3)} = \frac{1000 \cdot U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma a}} = \frac{1000 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 7,57} = 763,3 \text{ А},$$

$$I_{Ka}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{Ka}^{(3)} = 0,87 \cdot 763,3 = 664 \text{ А}.$$

і у точці б відповідно:

$$z_b = \sqrt{(x_s + x_{T1} + x_{Л10} + x_T)^2 + (r_{Л10} + r_T)^2}$$

$$z_b = \sqrt{(0,2 + 0,56 + 2,07 + 27,36)^2 + (6,47 + 7,02)^2} = 33 \text{ Ом},$$

$$I_{Kb}^{(3)} = \frac{1000 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 33} = 175,2 \text{ А},$$

$$I_{Kb}^{(2)} = 0,87 \cdot 175,2 = 152,4 \text{ А}.$$

Відповідно, струми з боку виводів 0,4 кВ трансформатора 10/0,4 кВ під час к.з. у точці б визначаємо із співвідношення:

$$I_{KbH}^{(3)} = \frac{U_{ВНОМ}}{U_{HНОМ}} \cdot I_{Kb} = \frac{10}{0,4} \cdot 175,2 = 4380 \text{ А},$$

$$I_{KbH}^{(2)} = \frac{10}{0,4} \cdot 152,4 = 3810 \text{ А}.$$

Як видно з наведених співвідношень опори електричної мережі 10 кВ та системи 35 кВ є набагато меншими від опору трансформатора 10/0,4 кВ. Користуючись викладеною послідовністю, визначимо струми к.з. у найбільш електрично віддалених вузлах мережі 0,4 кВ (вузли 5, 14 приймають значення точки в на заступній схемі), для яких отримаємо сумарні опори к.з. за наступними виразами:

$$z_{\Sigma B} = z_{\Sigma b} \cdot \left(\frac{U_{HНОМ}}{U_{ВНОМ}}\right)^2 + z_{0B}, \quad (2.21)$$

де для вузлів в=5, 14 відповідно отримаємо:

$$z_{05} = 0,12 \text{ Ом}; \quad z_{\Sigma 2} = 55 \cdot \left(\frac{0,4}{10}\right)^2 + 0,12 = 0,208 \text{ Ом};$$

$$z_{14} = 0,36 \text{ Ом}; \quad z_{\Sigma 8} = 55 \cdot \left(\frac{0,4}{10}\right)^2 + 0,36 = 0,395 \text{ Ом}.$$

Тоді струми к.з. у цих вузлах будуть дорівнювати:

$$I_{K5H}^{(3)} = \frac{380}{0,34} = 814,8 \text{ А}; \quad I_{K5H}^{(2)} = 708,9 \text{ А};$$

$$I_{K14H}^{(3)} = \frac{380}{0,56} = 1091,06 \text{ А}; \quad I_{K14H}^{(2)} = 949,2 \text{ А}.$$

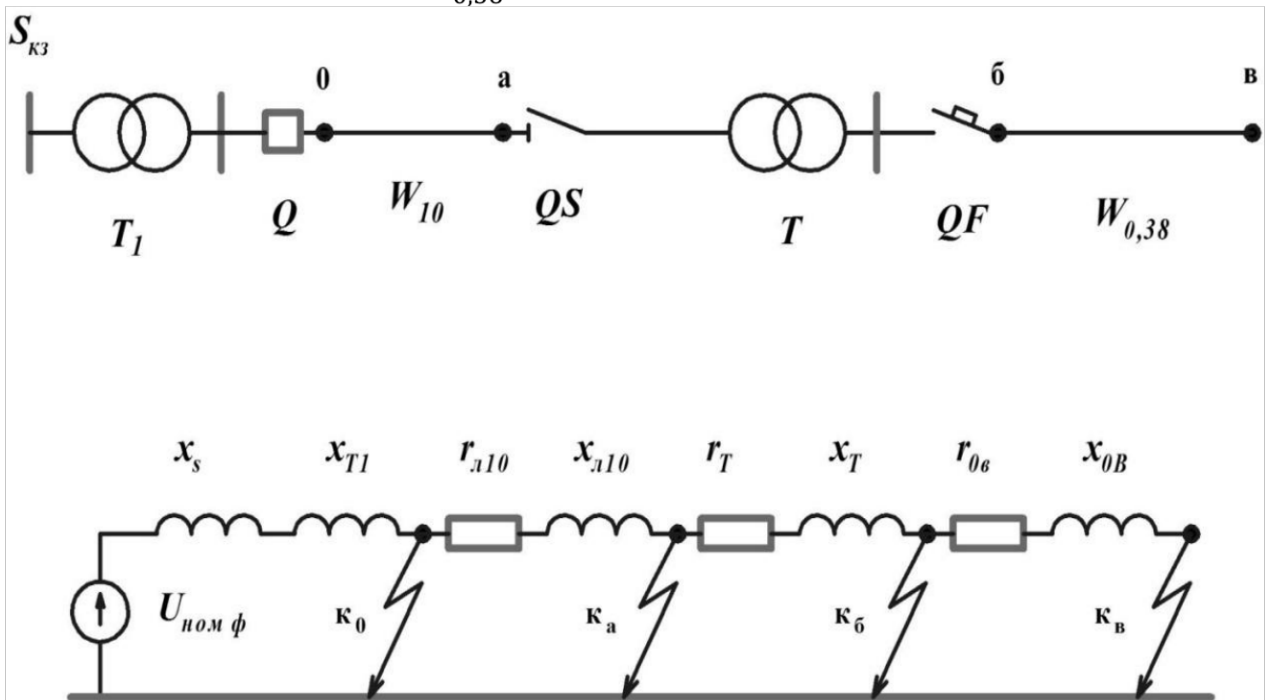


Рисунок 2.3 – Схема заміщення електричної мережі

Для визначення струмів однофазних к.з. у найбільш електрично віддалених вузлах мережі 0,4 кВ скористаємося формулою:

$$I_{KВH}^{(1)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{z_{T0}}{3} + z_{ПВ}\right)}, \quad (2.22)$$

де $z_{T0}=1,63 \text{ Ом}$ – опір нульової послідовності трансформатора під час замикання фази на корпус; $z_{ПВ}$ - опір петлі «фаза – нульовий провід» для відповідного вузла к.з. (в=5, 14):

$$z_{ПВ} = \frac{z_{0B}}{3} \cdot (2 + 3,5) \quad (2.23)$$

Тоді отримаємо наступні значення струмів однофазного замикання на землю:

$$I_{K5H}^{(1)} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{1,63}{3} + 0,49\right)} = 646 \text{ А}; \quad z_{ПВ 8} = \frac{0,27}{3} \cdot (2 + 3,5) = 0,49 \text{ Ом}.$$

$$I_{K14H}^{(1)} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{1,63}{3} + 0,64\right)} = 890 \text{ А}; \quad z_{ПВ 16} = \frac{0,35}{3} \cdot (2 + 3,5) = 0,64 \text{ Ом}.$$

2.5 Розрахунок параметрів релейного захисту

2.5.1 Релейний захист трансформатора 10/0,4 кВ

Захист трансформаторів 10/0,4 кВ потужністю 160 кВА здійснюють плавкими запобіжниками, встановленими зі сторони напруги 10 кВ. Згідно з вимогами запобіжник для трансформатора вибирають за наступними критеріями:

- *номінальною напругою мережі* $-U_{\text{зап}} = U_{\text{ном}};$
- *номінальний струм вимкнення, котрий повинен бути більшим від максимального струму к.з. у місці встановлення* $-I_{\text{н вимк}} \geq I_{\text{кз макс}};$
- *номінальним струмом плавкої вставки, який співвідносять з номінальним струмом трансформатора* $-I_{\text{вст}} \approx 2 I_{\text{т ном}};$

Для трансформаторів 10/0,4 кВ потужністю 160 кВА рекомендованим є встановлення запобіжників з $I_{\text{вст}} = 20 \text{ А}$.

Виходячи з вказаних вимог для захисту трансформатора у вказаній електричній мережі виберемо плавкий запобіжник ПКТ-10-20-31,5У3 з наступними параметрами:

Номінальна напруга, кВ	Номінальний струм, А	Номінальний струм вимкнення, кА
10	20	31,5

Враховуючи, що максимальне значення струму к.з. у точці **а** дорівнює 890 ампер бачимо, що вибраний запобіжник відповідає критеріям вибору.

2.5.2 Релейний захист електричної мережі 0,4 кВ

Захист електричної мережі 0,4 кВ для вибраної схеми КТП (у нульових проводах фідерів встановлено струмові реле, які під час спрацювання діють на обмотку незалежного розчіплювача) здійснюють автоматичними вимикачами типу АЗ710Б, які вибирають за наступними критеріями:

- *номінальною напругою мережі* $-U_{\text{авт}} = U_{\text{ном}};$
- *номінальний струм автоматичного вимикача, який повинен бути більшим від струму навантаження* $-I_{\text{р в}} \geq I_{\text{нав}};$

Виберемо за довідником [6] номінальні струми напівпровідникових розчеплювачів (які і є номінальними струмами автоматичних вимикачів) для фідерів:

$$A \rightarrow I_{\text{нав } A} = 104,07 \text{ A}; \quad I_{\text{р в } A} = 30 \text{ A};$$

$$B \rightarrow I_{\text{нав } B} = 107,87 \text{ A}; \quad I_{\text{р в } B} = 30 \text{ A}.$$

Струми спрацювання напівпровідникових розчіплювачів для усіх фідерів (у даному випадку в мережі немає потужних двигунів - $I_{\text{мр}} = I_{\text{нав}}$);

$$A \rightarrow I_{\text{сн } A} = 160 \text{ A} \geq 1,4 \cdot I_{\text{мр } A} = 1,4 \cdot 104,07 = 145,69 \text{ A};$$

$$B \rightarrow I_{\text{сн } B} = 160 \text{ A} \geq 1,4 \cdot I_{\text{мр } B} = 1,4 \cdot 107,87 = 151,02 \text{ A}.$$

Коефіцієнт чутливості напівпровідникових розчіплювачів для фідерів:

$$A \rightarrow k_{\text{ч}} = I_{\text{к}}^{(2)} / I_{\text{сн}} = I_{\text{к5н}}^{(2)} / I_{\text{сн } A} = 646 / 160 = 4,0;$$

$$B \rightarrow k_{\text{ч}} = I_{\text{к}}^{(2)} / I_{\text{сн}} = I_{\text{к14н}}^{(2)} / I_{\text{сн } B} = 890 / 160 = 5,5.$$

Розрахункові струми спрацювання реле незалежного розчіплювача під час однофазного к.з.:

$$A \rightarrow I_{\text{с рн}} = 1,25 \cdot 0,3 I_{\text{мр}} = 1,25 \cdot 0,3 \cdot 104,07 = 39,0 \text{ A};$$

$$B \rightarrow I_{\text{с рн}} = 1,25 \cdot 0,3 I_{\text{мр}} = 1,25 \cdot 0,3 \cdot 107,87 = 40,4 \text{ A}.$$

Прийmemo

$$A \rightarrow I_{\text{с рн}} = 50 \text{ A}; < I_{\text{к6н}}^{(1)} / 2 = 646 / 2 = 323 \text{ A};$$

$$B \rightarrow I_{\text{с рн}} = 50 \text{ A}; < I_{\text{к13н}}^{(1)} / 2 = 890 / 2 = 445 \text{ A}.$$

Струм спрацювання електромагнітного розчіплювача $I_{\text{сн}} = 1600 \text{ A}$. При трифазному короткому замиканні на початку лінії 5, 14 будуть спрацьовувати електромагнітні розчеплювачі автоматичних вимикачів, миттєво вимикаючи фідер.

2.5.3 Релейний захист електричної мережі 10 кВ

Враховуючи вимоги ПУЕ на лініях 10 кВ з одностороннім живленням встановлюють двохступінчастий струмовий захист, перший ступінь якого виконано у вигляді струмової відсічки, а другий – у вигляді максимального струмового захисту з залежною чи незалежною витримкою часу.

На лінії 10 кВ з боку підстанції 110/10 кВ, яка живить ТП 10/0,4 кВ ($I_{T\text{ ном}} = 9,24 \text{ А}$) виберемо для встановлення трансформатори струму (ТС) типу ТОЛ-10 у фазах А і С з коефіцієнтами трансформації 10/5 ($I_{1\text{ТС}} = 10 \text{ А} > I_{T\text{ ном}} = 9,24 \text{ А}$).

Двоступінчатий струмовий захист виконаємо за схемою рис.П.4.

Струм спрацювання відсічки вибирають з умови:

$$I_{\text{сзв}} = k_{\text{н}} I_{\text{кзовн}} = 1,2 \cdot 48,8 = 58,56 \text{ А}$$

де $I_{\text{кзовн}}$ - максимальне значення зовнішнього струму к.з., який визначають як струм у місці встановлення захисту при к.з. на стороні нижчої напруги трансформатора 10/0,4 кВ; $k_{\text{н}} = 1,2$ для реле РТ-40.

Струм спрацювання реле визначається з умови:

$$I_{\text{сзв}} = \frac{I_{\text{сзв}}}{n_{\text{ТС}}} = \frac{58,56}{10/5} = 29,28 \text{ А}$$

Чутливість спрацювання відсічки перевіряють за струмом двофазного к.з.

$$k_{\text{чв}} = \frac{I_{\text{к min}}^{(2)}}{I_{\text{сзв}}} = \frac{768}{29,28} = 26,2 > 1,5,$$

Тоді, згідно з вимогою ПУЕ у даному випадку відсічка може бути застосована як основний захист лінії.

На підставі здійснених обчислень та вибору електротехнічного обладнання можемо зробити висновок, що спроектована електрична мережа відповідає усім вимогам до ефективної, надійної та безпечної її роботи. Вибране устаткування задовольняє потреби мережі та забезпечує її стабільну роботу у нормальних та аварійних режимах роботи спроектованої мережі.

Варто відзначити, що при розробці також враховано заходи безпеки та надійності, зокрема здійснено вибір елементів захисту для ефективного реагування на короткі замикання та забезпечення надійного відмикання відповідних фідерів у разі потреби.

3 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

3.1 Концепція реактивної потужності

До засобів компенсування реактивної потужності відносять сукупність пристроїв і заходів, що дають змогу здійснювати вплив на баланс реактивної потужності у системі передавання електричної енергії. Цього можна досягнути через збільшене генерування самої реактивної потужності, або ж через зменшення споживання, застосовуючи різноманітні способи компенсації за визначеними схемами та алгоритмами. Здійснення оптимізації реактивного навантаження у електричних системах передавання енергії є одним із способів реалізації цього впливу [11].

Усі методи компенсації реактивної потужності (КРП) в системах передачі електричної енергії можна класифікувати на активні та пасивні. Активні підходи включають в себе генерацію реактивної потужності та її інтеграцію в системи передачі електричної енергії відповідно до оптимальних методів КРП. З іншого боку, використання пасивних підходів призводить до зменшення обсягів споживання реактивної потужності.

Всі способи компенсування реактивної потужності у системах передавання електроенергії поділяються на пасивні та активні. Пасивні способи спрямовані на зниження споживання реактивної потужності. Активні методи передбачають генерацію реактивної потужності та її інтеграцію у системи передавання електроенергії відповідно до оптимальних алгоритмів компенсації реактивної потужності.

До пасивних методів компенсування реактивної потужності відносять розвантаження мережі від реактивних струмів, зокрема:

- ❖ здійснення перемикачів обмоток статора асинхронного двигуна із трикутника на зірку, що навантажені менше 40 %;

- ❖ заходи скеровані на здійснення оптимізації адміністративних, технологічних та виробничих процесів для покращення координат режимів

роботи споживачів електроенергії, пристрої та систем;

- ❖ використання синхронних двигунів замість асинхронних при розробці нових проектів, а також заміна наявних електроприводів, за технологічної та технічної можливостей;

- ❖ зниження споживання реактивної потужності через відмикання трансформаторів, що завантажені до 30 % від номінальної потужності та асинхронних двигунів, що працюють у режимі неробочого ходу;

- ❖ удосконалення систем електроприводів у яких використовуються тиристорні системи управління регулювання напруги, а також заміна випрямних пристроїв на моделі із великою кількістю випрямних фаз;

- ❖ нормування обмежень для генерації струмів вищих гармонік чи задіявання у мережах передавання електричної енергії систем зі штучною комутацією випрямних елементів.

До активних способів компенсування реактивної потужності відносять генерування реактивної енергії у системах передавання електроенергії, що включають [19]:

- ❖ багатоступеневі установки компенсації реактивної потужності конденсаторними батареями із вентильними комутаційними апаратами;

- ❖ конденсаторні батареї сумісно із апаратурою керування, засобами захисту та комутаційною апаратурою. Ці установки збільшення коефіцієнта потужності та одночасно вони можуть бути нерегульованими та автоматичнорегульованими із релейними контакторами;

- ❖ різного роду синхронні машини, зокрема відомі синхронні компенсатори, які застосовуються тільки для стабілізування напруги у точці приєднання на інтервалі $\pm 5\%$ від номінального значення та працюють без навантаження на валу;

- ❖ косинусні конденсатори та конденсаторні батареї, які використовуються у індивідуальних та групових способах компенсації;

- ❖ статичні тиристорні компенсатори реактивної потужності. По суті, це є мостові генератори реактивної потужності з окремими накопичувачами, які

мають лінійні або нелінійні реактори насичення та послідовним приєднанням паралельних управляючих тиристорів, що працюють за концепцією непрямой і прямої компенсації реактивної потужності.

У мережах передавання електроенергії найбільш використовуваними є такі способи компенсації реактивної потужності: індивідуальний, груповий та централізований. Деколи використовують комбінації цих способів компенсації. У переважній більшості, комбінований підхід включає в себе централізований спосіб у поєднанні з індивідуальним чи груповим.

Рисунок 3.1 наочно презентує способи компенсації реактивної потужності навантаження у розподільчих електричних мережах.

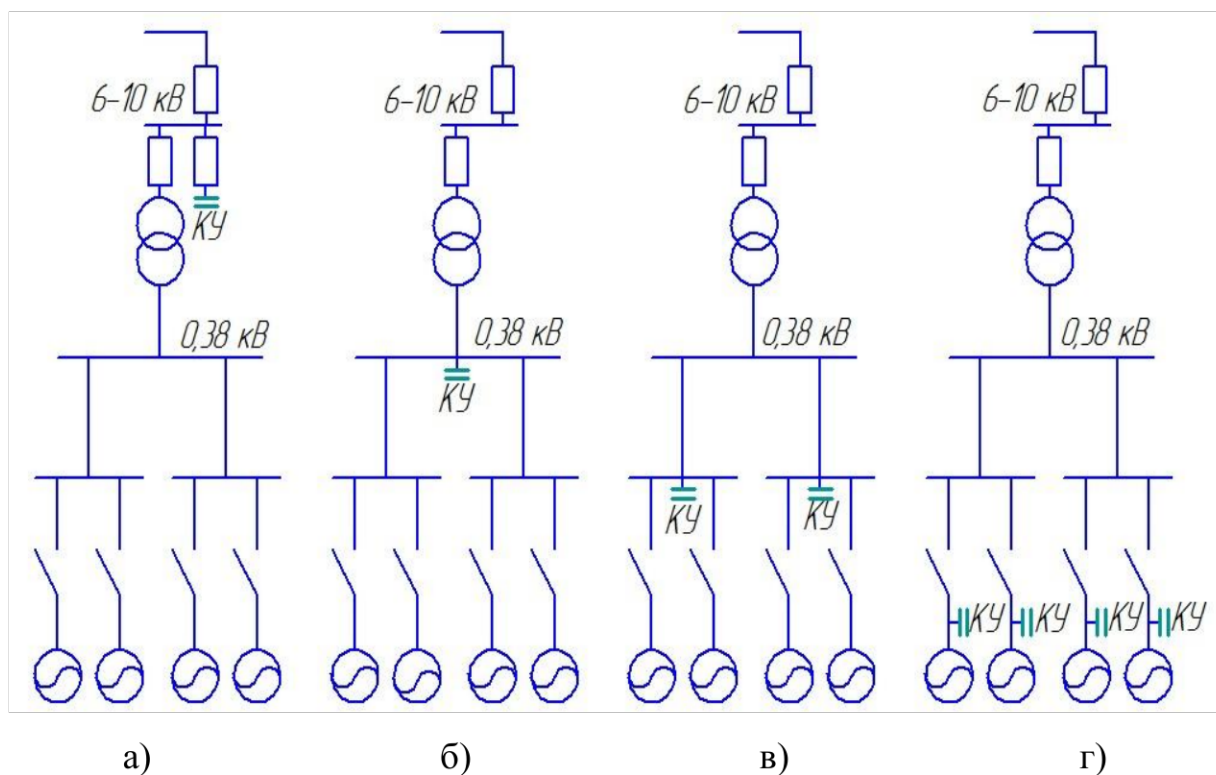


Рисунок 3.1 – Способи компенсації реактивної потужності навантаження:
а – централізований зі сторони високої напруги; б – централізований зі сторони низької напруги; в – посекційний (груповий); г – індивідуальний.

Вибір та обґрунтування способів компенсації реактивної потужності, здійснення монтажу самих пристроїв компенсації та їх обслуговування, здебільшого, проводиться спеціалізованими компаніями, які здійснюють енергоаудити об'єктів електрозабезпечення. Це дає змогу уникнути перекомпенсації і суттєво зменшити об'єми некомпенсованої реактивної

потужності для мереж передавання електроенергії із реактивними навантаженнями.

3.2 Розрахунок потужностей і ємностей конденсаторних батарей

Розрахунок потужностей та ємностей батарей конденсаторів будемо здійснювати використовуючи методики, які представлено у [20]. Розташовуватися батареї конденсаторів будуть безпосередньо на закритій комплектній трансформаторній підстанції. Таке розміщення дасть змогу здійснювати компенсацію реактивної потужності для усіх магістралей, а також використовувати наявні вимірювальні трансформатори струму у якості давачів.

Розрахунок потужностей та ємностей конденсаторних батарей будемо проводити для можливих двох варіантів схем з'єднання – «трикутником» і «зіркою». Нинішній коефіцієнт потужності у мережі без задіявання пристроїв компенсації реактивної потужності становить 0,79. Проводити розрахунки потужностей та ємностей конденсаторних батарей будемо для бажаного коефіцієнта потужності навантаження, котрий рівний 0,92.

Якщо конденсаторні батареї будуть з'єднані між собою за схемою «зірка», то струми фаз і реактивна потужність усіх трьох фаз конденсаторів розраховується за виразами:

$$I_K = \frac{U_\Phi}{X_C} = \frac{U_\Phi}{1/(\omega C)} = \frac{U_L \omega C}{\sqrt{3}},$$
$$Q_K = \sqrt{3} U_L I_K = \sqrt{3} U_L \frac{U_L \omega C}{\sqrt{3}} = U_L^2 \omega C. \quad (3.1)$$

Для зміни кута φ_1 до значення φ_2 , нам потрібно змінити струм конденсатора I_K , який розраховується за виразами:

$$I_K = I_{P1} - I_{P2} = I_{La} \operatorname{tg} \varphi_1 - I_{La} \operatorname{tg} \varphi_2 = I_{La} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2). \quad (3.2)$$

Підставивши вирази (3.2) у (3.1) та виразимо після цього значення ємності, отримаємо вирази для розрахунку ємності однієї фази:

$$C_Y = \frac{Q_K}{\omega U_{\text{Л}}^2} = \frac{\sqrt{3} U_{\text{Л}} I_K}{\omega U_{\text{Л}}^2},$$

$$C_Y = \frac{\sqrt{3} I_{\text{Ла}}}{\omega U_{\text{Л}}} \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2), \quad (3.3)$$

де $I_{\text{Ла}}$ – кількість активної складової струму через навантаження.

Якщо з'єднання батарей конденсаторів буде здійснено за схемою «трикутник», то ємність однієї фази C_{Δ} , реактивна потужність усіх трьох фаз Q_K та лінійний струм I_K розраховуються за виразами [20]:

$$I_K = \sqrt{3} I_{K\Phi} = \sqrt{3} U_{\text{Л}} \omega C_{\Delta},$$

$$Q_K = \sqrt{3} U_{\text{Л}} I_K = 3 U_{\text{Л}}^2 \omega C_{\Delta};$$

$$C_{\Delta} = \frac{Q_K}{3 U_{\text{Л}}^2 \omega} = \frac{\sqrt{3} U_{\text{Л}} I_K}{3 U_{\text{Л}}^2 \omega}, \quad \text{чи}$$

$$C_{\Delta} = \frac{I_{\text{Ла}}}{\sqrt{3} U_{\text{Л}} \omega} \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2). \quad (3.4)$$

Розраховуємо $\operatorname{tg} \varphi_1$ та $\operatorname{tg} \varphi_2$ використовуючи вирази:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi},$$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{\sqrt{1 - 0,79^2}}{0,79} = 0,77,$$

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{\sqrt{1 - 0,92^2}}{0,92} = 0,425. \quad (3.5)$$

Розраховуємо кількість активної складової струму використовуючи вирази:

$$I_{\text{Ла}} = \frac{S_{\Sigma \text{ вч}}}{\sqrt{3} U_{\text{Л}}} \cdot \cos \varphi_2,$$

$$I_{\text{Ла}} = \frac{129,8 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} \cdot 0,92 = 181,6 \text{ А}. \quad (3.6)$$

Використавши вираз (3.3) розраховуємо значення ємності батарей статичних конденсаторів, які з'єднані за схемою «зірка»:

$$C_Y = \frac{\sqrt{3} \cdot 181,6}{314,15 \cdot 380} \cdot (0,77 - 0,425) = 908,4 \text{ мкФ.}$$

Використавши вираз (3.4) розраховуємо значення ємності батарей статичних конденсаторів, які з'єднані за схемою «трикутник»:

$$C_{\Delta} = \frac{181,6}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 314,15} \cdot (0,77 - 0,425) = 303,3 \text{ мкФ.}$$

Під час вибору автоматичних конденсаторних установок потрібну загальну потужність статичних конденсаторних батарей розраховуємо за виразом:

$$Q_C = P \cdot (tg\varphi_1 - tg\varphi_2). \quad (3.7)$$

Розрахунок коефіцієнтів реактивної потужності $tg\varphi_1$, $tg\varphi_2$ проводимо на основі вартостей $\cos\varphi_1$, $\cos\varphi_2$, відтак вираз (3.7) можемо записати так [20]:

$$Q_C = P \cdot k, \quad (3.8)$$

де k – коефіцієнт реактивної потужності компенсаційної установки.

$$Q_C = 129,8 \cdot 0,38 = 49,3 \text{ кВАр}$$

Вибираємо для компенсації реактивної потужності установку КРМ-0,4 потужністю 50 кВАр, яка буде встановлена на стороні 0,4 кВ трансформаторної підстанції.

При виборі конденсаторної установки потрібно враховувати потужність, яка споживається електроустаткуванням, технічні параметри мережі, режими роботи та умови експлуатації. Також важливо врахувати кількість ступенів регулювання та їх потужність,

При здійсненні компенсації реактивної потужності навантаження потрібно врахувати не тільки інтереси споживачів, бо суттєве збільшення коефіцієнта потужності призводить до зростання сумарних втрат енергії у мережі електропередач. Відтак, надзвичайно важливо, щоб була забезпечена умова зменшення втрат активної потужності у електричній мережі завдяки компенсації реактивної потужності, яка має бути більшою за втрати активної потужності компенсуючих установок пристроїв.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Структурно-функціональний аналіз виникнення небезпечних ситуацій

Охорона праці передбачає вивчення та вживання заходів щодо запобігання нещасним випадкам на робочому місці, контролю за гігієною та дотриманням правил безпеки праці, а також організацію інструктажів та навчання працівників з питань охорони праці [22].

При роботі з електроустановками часто виникають різні види небезпек, від ударів струмом до різних механічних ушкоджень. Всі працівники мають проходити інструктажі з охорони праці та електробезпеки. Основними причинами електротравматизму при роботі працівників є:

- випадкове доторкання до неізольованих струмопровідних частин електроустаткування;
- використання несправних ручних електроінструментів;
- застосування нестандартних або несправних переносних світильників напругою 220 чи 127 В;
- робота без надійних захисних засобів та запобіжних пристосувань;
- доторкання до незаземлених корпусів електроустановок, що опинилися під напругою внаслідок пошкодження чи пробією ізоляції;
- недотримання правил будови, улаштування, безпечної експлуатації електроустановок та правил експлуатації електрозахисних засобів.

Під час роботи електромонтер повинен утримувати обладнання в технічно-справному стані, використовувати безпечні прийоми праці, користуватися спец одягом та засобами індивідуального захисту, тощо. Забороняється працювати при недостатньому освітленні, курити в приміщеннях та залишати без нагляду електронагрівальні прилади. Під час роботи потрібно здійснювати постійний контроль за справністю обладнання, інструментів, вмикаючих і вимикаючих

пристроїв. Розглянемо роботу електромонтерів, які працюють обслуговуючи елементи підстанцій.

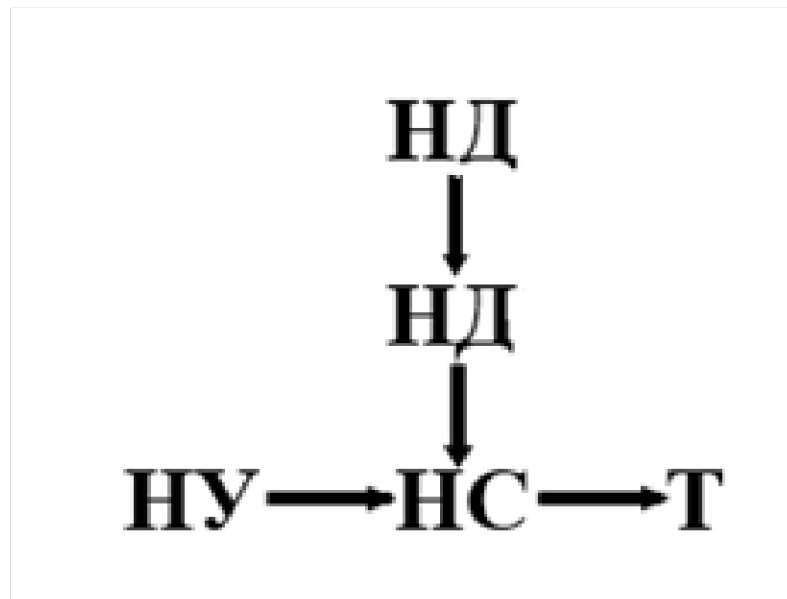


Рисунок 4.1 – Аналіз процесу формування небезпечної ситуації при заміні LED ламп зовнішнього освітлення підстанції: НУ1 – небезпечна умова (не вимкнене живлення від мережі); НД1 – небезпечна дія (нехтування правилами ТБ); НД2 – небезпечна дія (користування невідповідним інструментом); НС1 – небезпечна ситуація (обрив тросу); НС2 – небезпечна ситуація (монтажник без захисної каски); Т – травма.

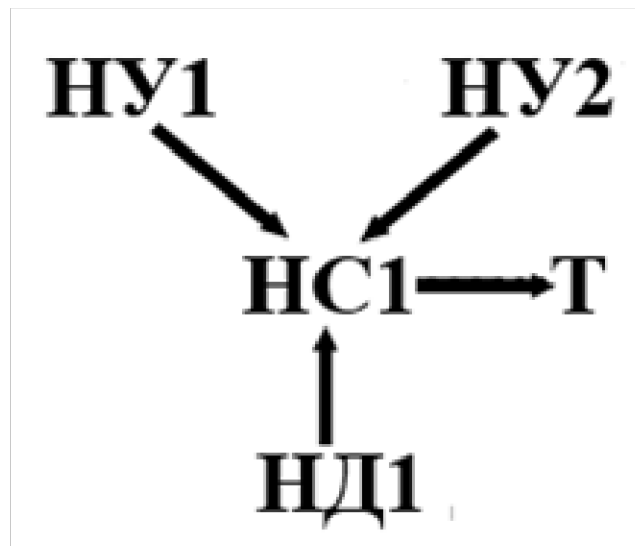


Рисунок 4.2 – Аналіз процесу формування небезпечної ситуації при обслуговуванні релейного захисту: НУ1 – небезпечна умова (не зроблено видимого розриву контура); НД1 – небезпечна дія (напруга на виводах релейної апаратури); НД2 – небезпечна дія (використання обладнання з пошкодженим ізолюванням); НС1 – небезпечна ситуація (пошкодження руки монтажника); НД3 – небезпечна дія (пошкоджений пристрій аварійної зупинки бура); НС2 – небезпечна ситуація (монтажника затягнуло буром); Т – травма.

На рисунку 4.1 представлено схему аналізу процесу формування небезпечної ситуації при заміні LED ламп зовнішнього освітлення підстанції. Бачимо, що при виникненні усіх описаних чинників виникне травма. У даному випадку основним заходом запобігання небезпечної ситуації є проведення додаткових інструктажів із техніки безпеки [22].

На рисунку 4.2 представлено схему аналізу процесу формування небезпечної ситуації при встановленні залізобетонної опори. Бачимо, що при виникненні усіх описаних чинників виникне травма. У даному випадку основними заходами запобігання небезпечної ситуації є організація постійного контролю за дотриманням правил техніки безпеки.

Перед початком роботи потрібно вимкнути напругу мережі не менш ніж у двох місцях та створити видимий розрив кола. При роботі без зняття напруги на струмопровідних частинах або поблизу них потрібно працювати в діелектричному взутті або стоячи на діелектричному килимку, застосовувати інструмент з ізольованими рукоятками, або користуватися діелектричними рукавицями. Тримати ізолювальні частини засобів захисту за рукоятки до обмежувального кільця, користуватися тільки сухими і чистими ізолювальними частинами засобів захисту. Не торкатися ізоляторів електроустановки, що перебуває під напругою, без застосування електрозахисних засобів. Під час снігопаду, дощу, туману не допускається виконання робіт, які вимагають застосування захисних ізолювальних засобів.

До оперативного обслуговування електричного устаткування та його ремонту допускаються працівники, які знають основи електротехніки, будову різних двигунів, захисних і вимірювальних приладів, комутаційної апаратури, найбільш раціональні способи перевірки, ремонту, складання і встановлення електроапаратури тощо. Знають терміни випробувань захисних засобів та пристосувань, правила їх експлуатації. Володіють іншими знаннями і навичками відповідно до присвоєних розрядів та відповідають іншим кваліфікаційним вимогам згідно з посадовою інструкцією. Перед виконанням робіт з підвищеною

небезпекою, які проводяться за розпорядженням або нарядом-допуском, переконатися в належному оформленні документації, пройти цільовий інструктаж з охорони праці та виконувати заходи передбачені нарядом допуском.

Під час роботи електромонтер зобов'язаний утримувати обладнання в технічно справному стані, використовувати безпечні прийоми праці, користуватися спец одягом та іншими засобами індивідуального захисту. Не допускати в своє робоче місце сторонніх осіб. Відрегулювати рівень освітленості робочого місця, вести затверджену у встановленому порядку технічну і оперативну документацію.

Після роботи працівник зобов'язаний привести в порядок робоче місце, відключити і знеструмити обладнання та світильники, прибрати інструменти і матеріали, що використовувались у виробничому процесі. Зробити записи в журналі та повідомити керівництво про виявлені неполадки і несправності обладнання та про інші фактори, що впливають на безпеку праці.

4.2 Розрахунок блискавкозахисту для підстанції 10/0,4 кВ

Блискавка – це гігантський іскровий заряд в електричному полі атмосфери. Цей заряд довжиною кілька кілометрів, що розвивається між грозовою хмарою і землею або будь якою наземною спорудою. Блискавки діляться на спадні і висхідні. Спадні блискавки виникають у грозових хмарах і розвиваються в напрямку до землі. Висхідні блискавки збуджуються у вершин заземлених споруд і розвиваються в напрямку до хмари. Блискавки є дуже небезпечними природними явищами, особливо для електрообладнання. Оскільки вона може викликати електромагнітний імпульс, що генерує перенапругу або спад напруги це завдає сильної шкоди електрообладнанню [23].

Для розрахунку нам буде потрібна схема підстанції з її розмірами:

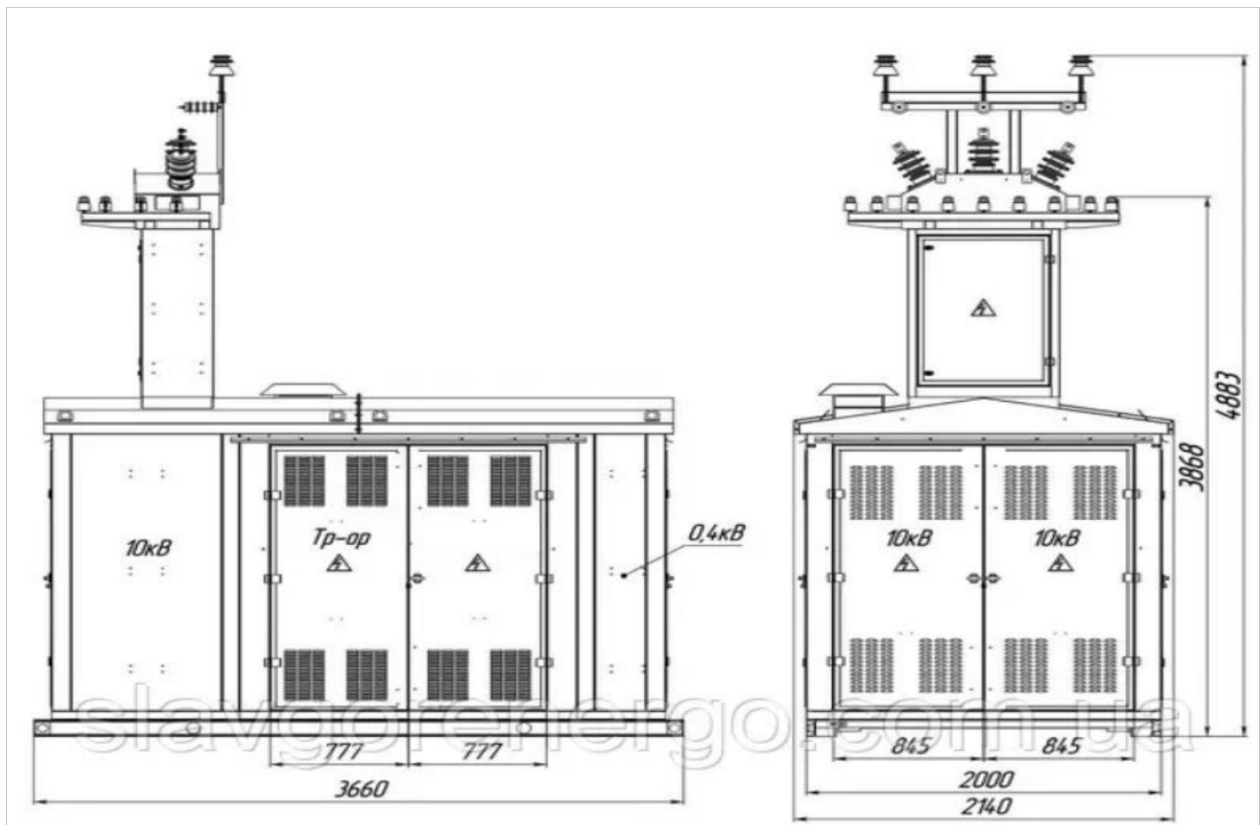


Рисунок 4.3 – Загальний вигляд та розміри КТП

Розрахуємо блискавкозахист для нашої підстанції 160 кВА. Розміри підстанції показано на схемі. Для полегшення розрахунку деякі значення заокруглимо. Ширина підстанції 2,2 м. довжина підстанції 3,7 м, висота будівлі $h_x = 5$ м, висота силового трансформатора $h = 4$ м. Питомий опір ґрунту $\rho = 150$ Ом·м. Виберемо захист підстанції з одним блискавковідводом стрижневого типу. Він буде встановлений на опорі висотою $H = 10$ м. Розрахуємо висоту блискавковідводу з умови захисту кута підстанції на висоті $h_x = 4,5$ м. Відстань між опорою і підстанцією 3 м.

Зі схеми компоновання підстанції знайдемо необхідний радіус захисту [22]:

$$r_{x1} = \sqrt{3,7^2 + 2,2^2} = 4,3 \text{ м.}$$

Знаходимо радіус блискавковідводу на висоті $h_x = 5$ м

$$r_{x2} = \frac{1,6h(h-h_x)}{h+h_x};$$

$$r_{x2} = \frac{1,6 \cdot 10(10-5)}{10+5} = 10,6 \text{ м.}$$

Необхідний радіус:

$$r_{x2} = \sqrt{(3,5+2)^2 + 1,5^2} = 7,75 \text{ м};$$

що менше розрахункового, отже ця точка потрапляє в зону захисту блискавковідводу. Тож приймаємо висоту блискавковідводу $H = 10 \text{ м}$.

Опір розтіканню струму грозового розряду:

$$R_p = a \cdot R;$$

де $R = 0,5 \text{ ом}$ – опір заземлення; a – імпульсний коефіцієнт, який залежить від струму заземлювача і питомого опору ґрунту дорівнює 0,8.

Тоді:

$$R_p = 0,8 \cdot 0,5 = 0,4 \text{ Ом}.$$

Розрахунки показали, що опір заземлення складає 0,4 Ом.

Отже для блискавковідводу використаємо залізобетонну опору з залізним штирем на кінці. Загальна висота конструкції 10 метрів.

4.3 Пожежна безпека

Пожежа – це неконтрольоване горіння що розповсюджується в часі і просторі. Основними причинами виникнення пожеж є сукупність погодних факторів, недотримання правил пожежної безпеки та планів дій щодо пожежного захисту в АПК.

На кожному підприємстві АПК мають бути розроблені загальні інструкції про заходи пожежної безпеки та інструкції для всіх вибухопожежонебезпечних, пожежонебезпечних та вибухонебезпечних приміщень. Ці інструкції слід вивчати під час проведення протипожежних інструктажів, проходження пожежо-технічного мінімуму та виробничого навчання і вивішувати для ознайомлення в установлених місцях [22].

Особа, відповідальна за протипожежний стан електроустановок зобов'язана:

- забезпечити організацію та своєчасне проведення профілактичних заходів, а також своєчасно усувати порушення, які можуть призвести до пожежі;

- забезпечити правильність вибору та застосування кабелів, електропроводів, двигунів та іншого електрообладнання залежно від класу зон щодо пожежної безпеки;
- систематично контролювати справність апаратів захисту від струменів короткого замикання, перевантаження, внутрішньої та атмосферної перенапруги, а також від ненормальних режимів роботи;
- організовувати навчання та інструктаж чергового персоналу з питань пожежної безпеки при експлуатації електроустановок;
- брати участь у розслідуванні виникнення пожеж від електроустановок, розробляти і здійснювати заходи щодо їх попередження [24].

У разі виникнення аварійної ситуації і аварії електромонтер вживає заходи щодо їх локалізації та ліквідації. У випадку, якщо він самотійно не спроможний вжити дієвих заходів з усунення виявлених порушень у роботі обладнання, працівник зобов'язаний негайно повідомити про це безпосереднього керівника, а за його відсутності керівника вищого рівня та викликати за необхідності представників аварійної та технічної служби.

При пожежі, задимленні або загазованості потрібно негайно вжити заходів щодо евакуації людей з приміщення відповідно до затвердженого плану евакуації та приступити до ліквідації пожежі наявними засобами пожежогасіння.

4.4 Охорона довкілля

Охорона довкілля – система заходів щодо раціонального використання природних ресурсів, збереження особливо цінних та унікальних природних комплексів і забезпечення екологічної безпеки. Електроустановки можуть мати значний негативний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людей. Важливо застосовувати різні заходи для покращення охорони довкілля.

Під час експлуатації електроустановок повинні бути вжиті заходи із запобігання чи обмеження прямої та непрямої дії на навколишнє середовище

викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря і скидання стічних вод у водні об'єкти, зниження звукової потужності та зменшення неекономного використання води з природних джерел. Викид забруднювальних речовин в атмосферу не повинен перевищувати величин нормативів гранично допустимих забруднювальних речовин для стаціонарних джерел. У споживачів, що експлуатує електрообладнання з великим об'ємом масла, повинні бути розроблені заходи із запобігання аварійним та іншим викидам його в навколишнє середовище. Споживач у якого під час експлуатації електроустановок утворюються токсичні відходи, зобов'язаний в установленому порядку забезпечити своєчасну їх утилізацію, знешкодження та захоронення. Експлуатація електроустановок без пристроїв, які забезпечують дотримання встановлених вимог, або з несправними пристроями, які не забезпечують дотримання цих норм і вимог забороняється. Рівень шуму в електроустановках не повинен перевищувати норм, установлених відповідними санітарними нормами та стандартами відповідно до ДСН 3..3.6.037-99 [24].

Немалу роль в охороні довкілля виконує мінімізація впливу електромагнітного випромінювання. Електромагнітне випромінювання може мати негативний вплив на здоров'я людей та довкілля. Напруженість електромагнітних полів не повинна перевищувати граничнодопустимих рівнів цих факторів відповідно до ДСанПін № 3..3.6.096-2002. Важливо вживати заходів для мінімізації впливу електромагнітного випромінювання та дотримуватися вимог щодо допустимих рівнів випромінювання.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Цей розділ присвячений розрахунку вартості передавання електроенергії від ПС 110/35/10 кВ (шини 10 кВ) до введів споживачів 0,4 кВ. Розрахований економічний показник буде включати затрати на експлуатацію та обслуговування елементів електричної мережі, поточний ремонт та амортизацію цих елементів та вартість втрат електричної енергії у них.

Щоб розрахувати щорічні затрати на амортизацію і поточний потрібно розрахувати вартість зведення мережі, враховуючи капітальні затрати на зведення ліній електропередач та підстанцій. Значення вартостей втрат електроенергії розраховується на підґрунті вартості 1 кВт год електричної енергії. Додатково ще необхідно врахувати втрати енергії у трансформаторах 10/0,4 кВ та у лініях електропередач 10 кВ та 0,4 кВ.

Затрати для обслуговування електричної мережі розраховуються у вигляді добутку вартості обслуговування одиниці обладнання на кількість цих одиниць. Це стосується і ліній електропередач і трансформаторних підстанцій.

Сумарні щорічні затрати для експлуатації спроектованої електричної мережі розраховуються за виразом [25]:

$$C = C_{\text{пс}} + C_{\text{л}} + C_{\text{в}}, \quad (6.1)$$

де $C_{\text{в}}$ – вартість втрат електроенергії за рік; $C_{\text{пс}}$, $C_{\text{л}}$ – затрати для експлуатації ліній електропередавання 0,4 кВ та підстанцій 10/0,4 кВ.

Значення вартості передачі електроенергії від ПС 110/35/10 кВ до введів споживачів розраховується за виразом:

$$c_{\text{ел}} = \frac{C}{P_{\text{роз}} \cdot T}, \quad (6.2)$$

де $P_{\text{роз}}$ – значення розрахункової активної потужності на шинах КТП 10/0,4 кВ; T – тривалість дії максимального навантаження за рік.

Аналізуючи вирази (6.1) і (6.2), бачимо, що розрахунок вартості передачі електроенергії передбачає враховування втрат енергії в електричній мережі. Для

проектованої мережі, до цих втрат відносять втрати у силових трансформаторах та втрати у мережі 0,4 кВ та в мережі 10 кВ.

5.1 Розрахунок втрат електроенергії в елементах мережі

Розрахунок втрат електроенергії будемо здійснювати для електричних мереж напругою 10 кВ та 0,4 кВ, а також у трансформаторі підстанції 10/0,4 кВ. Розрахунок втрат електроенергії проводиться для окремих ділянок мережі з різними проводами та навантаженням, за виразом:

$$\Delta W = \sum_{i=1}^n 3 I_{\max i}^2 r_i \tau, \quad (6.3)$$

де τ – тривалість максимального навантаження; $I_{\max i}$ – максимальне значення струму ділянки мережі; r_i – активний опір проводів ділянки мережі.

Втрати електроенергії у лініях електропередач 0,4 кВ розраховуються для усіх ділянок електричної мережі до підведення споживачів. Втрати електроенергії у трансформаторах 10/0,4 кВ складаються з постійних та змінних, вони розраховуються за виразом:

$$\Delta W_c = n \cdot \Delta P_{\text{нх}} \cdot 8760, \quad (6.4)$$

де $\Delta P_{\text{нх}}$ – втрати для трансформатора у режимі неробочого ходу; n – чисельність трансформаторів на підстанції;

Змінні втрати в обмотках трансформатора розраховуємо за виразом [25]:

$$\Delta W_o = \Delta P_{\text{кз}} \left(\frac{S_{\max}}{S_{\text{т ном}}} \right)^2 \tau, \quad (6.5)$$

де $S_{\max}$ – максимальне навантаження трансформатора.

Розраховуємо максимальний струм, який протікає лінією електропередачі 10 кВ за виразом:

$$I_{\text{л10 max}} = \frac{S_{\Sigma \text{вч}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (6.6)$$
$$I_{\text{л10 max}} = \frac{129,8}{\sqrt{3} \cdot 10} = 7,5 \text{ А.}$$

Розраховуємо втрати електроенергії у мережі 10 кВ за виразом (6.3):

$$\Delta W_{10} = 3 \cdot 7,5^2 \cdot 6,8 \cdot 1920 = 2\,203 \text{ кВт.}$$

Розраховуємо втрати електроенергії у мережі 0,4 кВ враховуючи, що величину струму кожної ділянки мережі беремо вечірнє значення струму з таблиці 2.5 теж за виразом (3.6):

$$\Delta W_{0,38} = \sum_{i=1}^{14} 3I_{\max i}^2 r_i \tau = 3\,304 \text{ кВт.}$$

Розраховуємо постійні і змінні втрати у трансформаторі 10/0,4 кВ за виразами (6.4) та (6.5):

$$\Delta W_c = 0,41 \cdot 8760 = 3\,691,6 \text{ кВт,}$$

$$\Delta W_o = 0,9 \cdot \left(\frac{129,8}{160} \right)^2 \cdot 1920 = 1\,137,2 \text{ кВт.}$$

Розраховуємо постійні втрати електричної енергії у спроектованій електромережі за виразом:

$$\Delta W_{\text{пост}} = \Delta W_c \quad (6.7)$$

$$\Delta W_{\text{пост}} = \Delta W_c = 3\,691,6 \text{ кВт год.}$$

Розраховуємо змінні втрати електричної енергії у спроектованій електромережі за виразом [26]:

$$\Delta W_{\text{зм}} = \Delta W_{10} + \Delta W_{0,38} + \Delta W_o, \quad (6.8)$$

$$\Delta W_{\text{зм}} = 2\,203 + 3\,304 + 1\,137 = 6\,644 \text{ кВт год.}$$

Розраховуємо сумарні втрати електричної енергії у спроектованій електромережі за виразом:

$$\Delta W = \Delta W_{\text{пост}} + \Delta W_{\text{зм}}, \quad (6.9)$$

$$\Delta W = 3\,691 + 6\,644 = 10\,335 \text{ кВт год.}$$

Зведені результати розрахунку втрат електроенергії для спроектованої електромережі представлено у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Зведені результати розрахунків втрати електроенергії

Параметр	Значення	Параметр	Значення
$I_{\text{л10max}}, \text{ А}$	7,5	$\Delta W_o, \text{ кВт} \cdot \text{год.}$	1 137
$\Delta W_{10}, \text{ кВт} \cdot \text{год}$	2 203	$\Delta W_{\text{пост}}, \text{ кВт} \cdot \text{год.}$	3 691
$\Delta W_{0,38}, \text{ кВт} \cdot \text{год}$	3 304	$\Delta W_{\text{зм}}, \text{ кВт} \cdot \text{год.}$	6 644
$\Delta W_c, \text{ кВт} \cdot \text{год}$	3 691	$\Delta W, \text{ кВт} \cdot \text{год}$	10 335

5.2 Розрахунок вартості передачі електроенергії мережею

Проведемо розрахунки сумарних капітальних затрат на будівництво і ввід в експлуатацію спроектованої електромережі. Результати розрахунків представлено у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Капітальні затрати для будівництва електромережі

Елемент мережі	Капітальні питомі витрати, грн.	Кількість	Капітальні витрати на зведення, грн
Підстанція 10/0,4 кВ	310400	1 шт	310400
Лінія 10 кВ, 1 км	80150	6 км	480990
Лінія 0,4, 1 км: з проводами 5×А-25	80100	0,7 км	56070
з проводами 5×А-150	89711	0,7 км	62798
Мережа у цілому:			910258

Розраховуємо амортизаційні затрати спроектованої електромережі:

$$C_a = C_{a_{пс}} + C_{a_{л}} = a_{пс} K_{пс} + a_{л} K_{л} = 0,064 \cdot 310400 + 0,036 \cdot 599858 = 41460 \text{ грн.}$$

Розраховуємо затрати на обслуговування спроектованої електромережі:

$$C_o = a_o (n_{y_{пс}} + n_{y_{л10}} \cdot l_{10} + n_{y_{л0,38}} \cdot l_{0,38}) = 56 \cdot (5,6 + 1,7 \cdot 6 + 2,3 \cdot 1,4) = 1065 \text{ грн.}$$

Розраховуємо значення експлуатаційних затрат для спроектованої електромережі:

$$C_e = C_a + C_o = 41460 + 1065 = 42525 \text{ грн.}$$

Розраховуємо значення вартості втрат енергії у спроектованій електромережі:

$$C_w = c(\Delta W_{\text{пост}} + \Delta W_{\text{зм}}) = 4,32 \cdot 10335 = 44647 \text{ грн.,}$$

де $c = 4,32$ грн.

Розраховуємо значення щорічних сумарних затрат на передавання енергії спроектованою електромережею за виразом [25]:

$$C = C_e + C_w = 42525 + 44647 = 87172 \text{ грн.}$$

Розраховуємо значення собівартості передавання електроенергії спроектованою електромережею:

$$c_{\text{ел}} = \frac{C}{P_{\text{роз}} \cdot T} = \frac{87172}{119,47 \cdot 1920} = 0,38 \text{ грн/кВт год.}$$

Проаналізувавши здійснені розрахунки бачимо, що значення вартості передавання електроенергії спроектованою мережею дорівнює **0,38 грн/кВт год.**

ВИСНОВКИ

Дана кваліфікаційна робота представляє проект системи електропостачання села Ков'ярі Львівської області з запровадженням системи компенсації реактивної потужності. В даному проекті розглянуто то реалізовано наступні питання.

1. В першому розділі проведено загальну характеристику села Ков'ярі. Зроблено детальну характеристику системи електропостачання та проведено аналіз її фактичного стану в якому перебуває на даний момент. Опираючись на детальну характеристику та аналіз системи електропостачання приведено обґрунтування теми кваліфікаційної роботи

2. В другому розділі проведено детальний розрахунок активних, реактивних та повних навантажень з детальним прорахунком по всій довжині лінії електропередач. Розраховані струми цих навантажень. Проведено розрахунок та вибір трансформатора. Здійснено вибір типу трансформаторної підстанції (КТП). Розраховано та вибрано переріз та тип проводів для ліній 0.4 кВ та 10 кВ. Розраховано аварійні режими в мережі на основі цих даних розроблено релейний захист трансформатора, лінії 0.4 кВ та 10 кВ. Та запроектовано схему заміщення електромережі.

3. В третьому розділі розраховано потужність та ємність конденсаторних батарей. Дано рекомендації до типу конденсаторної установки та її розміщення В нашому випадку розміщуємо безпосередньо в приміщені КТП.

4. В четвертому розділі розглянуто питання з охорони праці та захисту навколишнього середовища, зокрема проаналізовано умови виникнення небезпечних ситуацій при заміні ламп зовнішнього освітлення та обслуговуванні релейного захисту. Також, розкрито питання охорони довкілля.

5. В п'ятому розділі проведено техніко-економічні розрахунки для зведення та подальшої експлуатації мережі, які показали, що вартість передачі електричної енергії спроектованою мережею становитиме 0,30 грн/кВт год.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Левонюк В. Основи електропостачання: методичні вказівки для виконання курсової роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Львів: ЛНАУ, 2019. 59 с.
2. Бабаєв М. М., Блиндюк В. С., Супрун О. Д. Проектування систем електропостачання залізниць. Харків: УкрДУЗТ, 2019. 291 с.
3. [Ков'ярі — Вікіпедія](#)
4. [Google мапа села Ков'ярі, Львівська область](#)
5. Маліновський А. А., Хохулін Б. К. Основи електропостачання. Львів: Львівська політехніка, 2005. 324 с.
6. Казанський С. В., Матеєнко Ю. П., Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник. Київ: Вид-во «Політехніка», 2017. 456 с.
7. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств: підручник. Вінниця: Нова Книга, 2011. 656 с.
8. Бахор З. М., Журахівський А. В. Проектування підстанцій електричних мереж. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. 308 с.
9. Методичні вказівки та завдання до курсового проекту з дисципліни «Основи електропостачання» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Укл. Чумакевич В. О. Львів: ЛНАУ, 2016. 59 с.
10. Кирик В. В. Електричні мережі та системи. Київ: НТУ «КП», 2014. 130 с.
11. Правила улаштування електроустановок Харків: Видавництво «Форт», 2017. 716 с.
12. Лук'яненко Ю. В., Остапчук Ж. І., Кулик В. В. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні. Вінниця: ВДТУ, 2002. 116 с.
13. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи: підручник. Львів: В-во НУ»ЛП», 2009. 488 с.

14. Коваленко О. І., Коваленко Л. Р., Мунтян В. О., Радько І. П. Основи електропостачання сільського господарства. Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2011. 462 с.

15. Лушкін В. А., Абраменко І. Г., Барбашов І. В., Черкашина В. В., Шутенко О. В. Загальна характеристика та розрахунок режимів розподільних мереж: навчальний посібник. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2013. 193 с.

16. Василега П. О. Електропостачання. Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. 415 с.

17. Голота А. Д. Автоматика в електроенергетичних системах. Київ: Вища шк., 2006. 367 с.

18. Соловей О. І., Розен В. П., Плешков П. Г. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. Кіровоград: КНТУ, 2015. 287 с.

19. Кідиба В. П., Шелепетень Т. М. Захист ліній електропересилання. Львів: В-во НУ «ЛП», 2004. 186 с.

20. Денисюк С. П., Радиш І. П., Кабацій В. М., Дерев'янка Д. Г. Основи електротехніки та електропостачання. Київ: Кондор, 2012. 216 с.

21. Малинівський С. М. Загальна електротехніка: навчальний посібник. Львів: В-во НУ «Львівська політехніка», 2001. 596 с.

22. Пістун І. П., Березовецький А. П., Тимочко В. О., Городецький І. М. Охорона праці. Львів: Тріада плюс, 2017. 620 с.

23. Арламов О. Ю. Безпека життєдіяльності та цивільний захист: конспект лекцій. Київ: В-во НТУУ «КПІ», 2018. 93 с.

24. Бондаренко В. О., Ганус О. І., Старков К. О., Шевченко С. Ю. Охорона праці в електроенергетиці: навчальний посібник. Харків: Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ», 2014. 286 с.

25. Лук'янова Л. Основи екології: навч. посіб. Київ: Вища шк., 2000. 327 с.

26. Мірошник О. О., Черкашина В. В., Мороз О. М., Черемісін М. М. Економічні розрахунки в інженерній діяльності на прикладах задач електроенергетики. Харків: ФЛП Панов А. Н., 2018. 214 с.