

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:

**«РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
НАСЕЛЕНОГО ПУНКТУ НА 50 ДВОРІВ З ВПРОВАДЖЕННЯМ
КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ»**

Виконав: студент IV курсу

групи Ен – 41 спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Чіч Б. Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник: Михайлович Т. І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент: Коробка С. В.

(прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ 2025

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

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

Чіч Борис Ярославович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розроблення системи електрозабезпечення населеного пункту на 50 дворів з впровадженням компенсації реактивної потужності»

(назва теми)

керівник роботи к.т.н., доцента Михайлович Т. І.

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

затверджені наказом Львівського НУП № 123 / к - с від 25.02.2025 р.

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025р.

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. Розробка системи електропостачання для 50 дворів

3. Компенсація реактивної потужності в мережі електропостачання

4. Охорона праці та навколишнього середовища

5. Економічний розрахунок

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 25.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Здійснення характеристики об'єкту електропостачання та обґрунтування теми кваліфікаційної роботи	25.02.2025 – 1.03.2025	
2	Здійснення обчислення параметрів електричної мережі	1.03.2025 – 1.04.2025	
3	Розрахунок параметрів релейного захисту трансформатора та ліній електропередачі, розрахунок параметрів компенсаційних пристроїв	1.04.2025 – 18.04.2025	
4	Виконання структурно-функціонального аналізу процесу та розробка моделі травмонебезпечних та аварійних ситуацій	18.04.2025 – 3.05.2025	
5	Вивчення питання охорони навколишнього середовища та здійснення техніко-економічної оцінки прийнятих рішень	3.05.2025 – 30.05.2025	
6	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації	30.05.2025 – 8.06.2025	
7	Завершення роботи в цілому	8.06.2025 – 13.06.2025	

Студент Чіч Б. Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи Михайлович Т. І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

УДК 621.785.25:5

Чіч Б. Я. Розроблення системи електрозабезпечення населеного пункту на 50 дворів з впровадженням компенсації реактивної потужності. Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, 2025 р. 45 ст. текстової частини, 14 таблиць, 7 рисунків, 20 джерел посилань.

У даній кваліфікаційній роботі представлено проект для системи електропостачання села Викоти з введенням в неї компенсаційних пристроїв по типу конденсаторної батареї. Здійснена коротка характеристика села, проведені основні розрахунки для системи електропостачання, такі як розрахунок навантаження мережі для 50 дворів, проведено вибір трансформатора для мережі 10/0,38 кВ, також по розрахункам здійснений вибір перерізу проводів. Для захисту електричної мережі був проведений розрахунок струмів короткого замикання, з якого було розроблено і підібрано систему релейного захисту. Для усунення проблеми надлишкової реактивної потужності була спроектована система з компенсаційними пристроями по типу конденсаторної батареї. Підняте і розкрито питання щодо охорони праці для працівників при обслуговуванні релейної апаратури та підняте питання навколишнього середовища. Здійснені економічні розрахунки вартості втрат, які відбуваються в елементах мережі, а також вартість електроенергії, яка буде передаватися розрахованою мережею.

Ключові слова: трансформатор, лінії електропередач, електрична мережа, реактивна потужність, компенсація реактивної потужності.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	8
1.1 Загальна характеристика села Викоти.....	8
1.2 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи.....	10
2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ 50 ДВОРІВ.....	11
2.1 Розрахунок навантаження електричної мережі для 50 дворів.....	11
2.2 Розрахунок потужності трансформатора та вибір трансформа- торної підстанції 10 кВ/0,38 кВ.....	17
2.3 Розрахунок та вибірка перерізу проводів мережі 10 кВ та 0,38 кВ...	19
2.4 Розрахунок аварійних режимів роботи мережі.....	22
2.5 Розрахунок параметрів релейної апаратури.....	26
3 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖУНОСТІ В МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	30
3.1 Підходи для компенсації реактивної потужності.....	30
3.2 Розрахунок потужності і ємності компенсуючих пристроїв.....	31
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	34
4.1 Структурно-функціональний аналіз виникнення небезпечних ситуацій.....	34
4.2 Пожежна безпека.....	35
4.3 Охорона довкілля.....	37
5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК.....	39
5.1 Розрахунок втрат електроенергії для розрахованої мережі електро- постачання.....	39
5.2 Обчислення вартості передачі електроенергії розрахованою мере- жею електропостачання.....	41
ВИСНОВКИ.....	42
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	43

ВСТУП

Рік за роком сучасне суспільство все більше і більше стає залежним від надійного, безперебійного та ефективного електропостачання, яке є невід'ємним елементом для надійного функціонування всіх промислових об'єктів, житлових будинків, закладів навчання, лікарень та інших не менш важливих об'єктів, які відносяться до критичної інфраструктури нашої країни. У зв'язку з зростанням енергоспоживання також зросли вимоги до якості передавання електроенергії, тому виникає потреба до нововведень щодо забезпечення якісного і стабільного енергопостачання всіх споживачів.

З постійними покращеннями мережі і кількістю нового електрообладнання, яке постійно використовується виникає проблема компенсації реактивної потужності. Якщо допускати надлишки реактивної потужності в мережу можуть статися погані наслідки:

- зростання реактивної потужності призведе до збільшення навантаження, яке буде передаватися до мережі і на обладнання підстанцій;
 - чим більше реактивної потужності тим більше зростання струмів у проводах, що стане причиною втрат на нагрівання, які в свою чергу до стрімкого зростання температури в проводах;
 - при надлишках реактивної потужності в мережі згадана раніше якість електроенергії падає за допустимі норми в залежності від споживача.
- Тому компенсація реактивної потужності стане найкращим рішенням з точки зору як якості електроенергії так і з економічної точки зору.

Розробка нової системи електропостачання, яка в себе буде включати компенсаційні прилади для компенсації реактивної потужності призведуть до значного підвищення надійності безперебійної роботи обладнання і якості електроенергії, що відіграє значну роль в економічному аспекті та енергетичній безпеці нашої країни.

Метою даної кваліфікаційної роботи стала розробка системи електропостачання для 50 дворів населеного пункту з введенням компенсаційних пристроїв для забезпечення компенсації реактивної потужності.

Потрібно виокремити основні **завдання** цієї кваліфікаційної роботи:

1. Провести ознайомлення з основними характеристиками населеного пункту, а також електроенергетичної мережі, якою забезпечуються споживачі.
2. Здійснити основні розрахунки щодо проектованої мережі: розрахунок підстанції і трансформатора, проводів, релейної апаратури.
3. Провести розробку системи з компенсаційними пристроями (конденсаторними батареями) для компенсації реактивної потужності.
4. Підійняти питання охорони праці працівників та охорони навколишнього середовища.
5. Провести економічні розрахунки вартості втрат та передачі електроенергії

До **об'єкту** цієї кваліфікаційної роботи можна віднести систему електропостачання для 50 дворів і систему компенсації реактивної потужності.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

1.1 Загальна характеристика села Викоти

Село Викоти розташоване в південно-західному напрямку від міста Львова, село належить до Бісковицької сільської громади, яка відноситься до Самбірського району. За загально доступними даними кодифікатор Викотів має наступний код: UA46080010080041937 [1]. Відстань даного села до центру міста Самбір становить всього 7 км, натомість відстань до Львова складає аж 80 км. Не залежно від такої відстані весь шлях можна подолати автошляхом, тому що вони проходять через село. За 7 км в тому ж Самборі знаходиться залізнична станція. З урахуванням такого географічного положення можна сказати, що здійснити будь-які перевезення та організувати хороше господарство не стане проблемою.

Даний населений пункт знаходиться приблизно на висоті 305 м над рівнем моря. З урахуванням цього на території відсутні будь-які річки, водойма та підземні джерела є малодоступними. Щодо інших цінностей недр землі можна стверджувати, що вони відсутні, хоча раніше видобувався торф. Виключенням є тільки робота керамзитового заводу на території села [1].

Село розташоване переважно на чорноземах та сірих лісових ґрунтах. Середні показники температури для цього населеного пункту протягом цілого року буде коливатися в районі 7,5 °С, з дощами на території все стабільно і в середньому випадає 640 – 700 мм опадів [1].

Території села Викоти складає 9,6 км², а кількість населення що проживає в селі майже не змінилося, з 2001 року в селі налічувалося до 1800 осіб, а станом на 2025 рік ця кількість з малою ймовірністю може досягти приблизно 1900 осіб.

В основному село складається з будинків, але тут також є адміністративний будинок, заклад для харчування, середньої школи та деякої кількості магазинів. Село має багато сполучних і довгих вуличок. В заключення на території села немає жодного споживача, який міг бути віднесений до I категорії надійності тому всі споживачі входять до двох інших категорій [1].

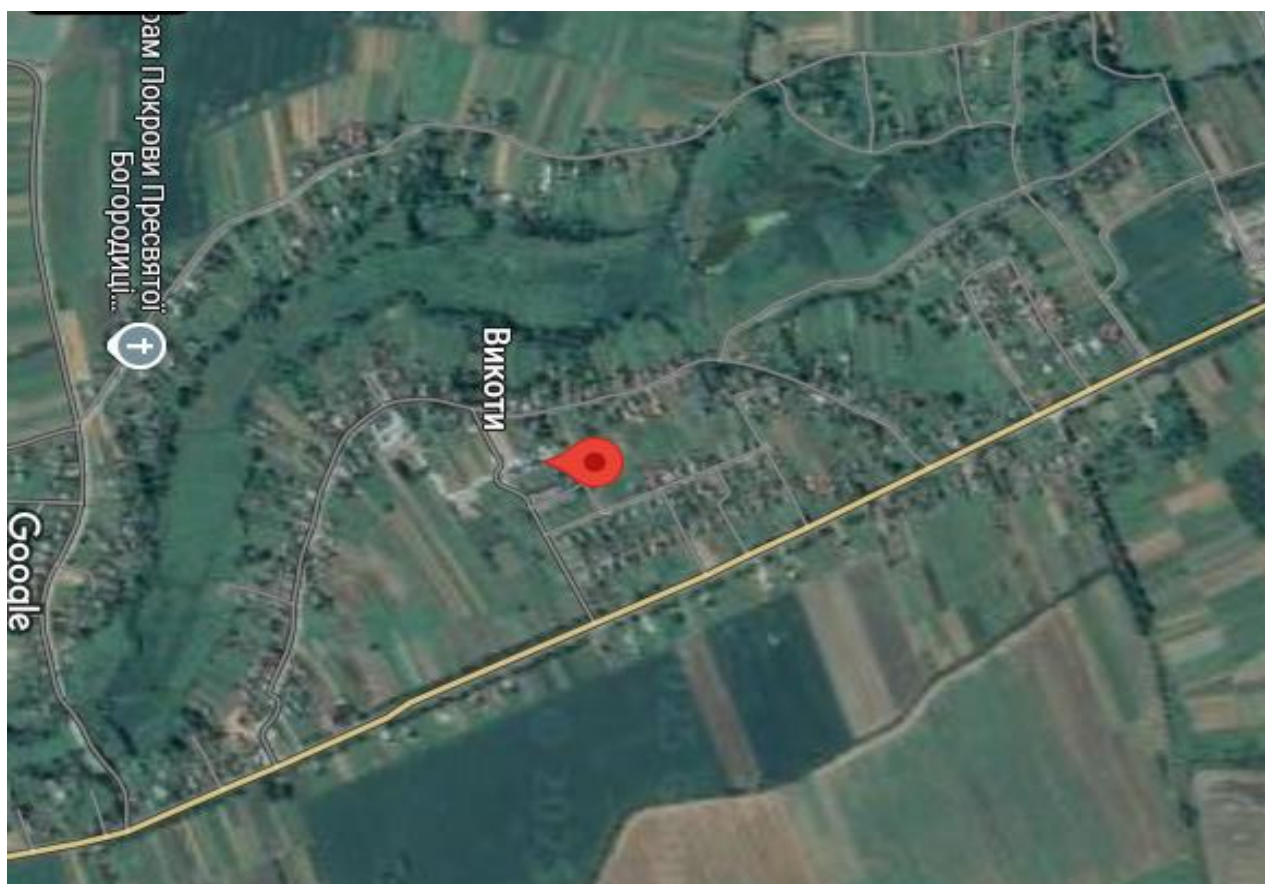


Рисунок 1.1 – Зображення карти села Викоти з супутника [2]

Як це банально не звучало б, але електропостачанням села Викоти як і всіма іншими споживачами Львівської області займається ПрАТ «Львівобленерго».

Можна стверджувати, що живлення відбувається повітряними лініями електропередачі на напругу 10 кВ, його забезпечує місцева трансформаторна підстанція 35 кВ, її вся довжина становить 5 км. На рахунок передачі електроенергії до споживача відбувається підстанцією на напругу 10/0,38 кВ, а самі лінії виконані проводами типу А-25 з перерізом в 25 мм², вони ж підвішені протягом всієї відстані на дерев'яних опорах [1].

З зовнішнього огляду трансформаторна підстанція має досить задовільний стан. За захист від перенапруг на підстанції відповідають розрядники та пристрої для заземлення. Можна сказати, що вуличне освітлення для всього села виконане з дугових розрядних ламп, а мереже ідентична до силової і в кращому випадку потребує заміни і модернізації.

Попри все є досить значні проблеми електричної мережі села, вона значною мірою є зношеною і застарілою. Сам трансформатор 10/0,38 кВ працює в постійному стані перенавантаження, у зв'язку з значною кількістю зростання нового електрообладнання. За таких умов система електропостачання, яка забезпечує село Викоти вижила себе і потребує повної заміни з введенням значної кількості нововведень.

1.2 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи

Актуальність цієї роботи полягає в деяких основних засадах. Для початку потрібно сказати, що кожен повинен мати належний добробут для життя, тому надійне та безперебійне електрозабезпечення стає майже не першим основним чинником належного добробуту в наш час.

Для розуміння в селі Викоти Самбірського району система електрозабезпечення проектувалася минулого століття, якщо не помиляюся десь в 70-х роках [1], а тоді мережі найчастіше розраховувалися з порушенням багатьох державних стандартів через пришвидшену електрифікацію населених пунктів. На відміну від тих років зараз прогрес в плані потужного електрообладнання дуже швидко виріс, а це значною роллю б'є по працездатності розрахованих тоді трансформаторів. Потрібно і не забувати про проводи, якими передається електроенергія, у зв'язку з частими перенавантаженнями призводить до погіршення передавальних можливостей, а плюсом до спрацювань релейного захисту на підстанціях.

З таких міркувань кваліфікаційна робота на тему «Розроблення системи електрозабезпечення населеного пункту на 50 дворів з впровадженням системи компенсації реактивної потужності» стане хорошим стартом для модернізації більшості систем електропостачання, які в наш час знаходяться в стані доживаючого віку.

2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ 50 ДВОРІВ

2.1 Розрахунок навантаження електричної мережі для 50 дворів

Для початку перед розрахунками виділимо деякі дрібниці та питання щодо мережі. Першочерговою деталлю розрахунків навантаження для розроблених нами вузлів електричної мережі стане урахування освітлення вулиць вечером. Крім цього потрібно взяти до уваги те, що всі лінії електропередач 0,38 кВ, що проходять по селу будуть живитися одним трансформатором 10/0,38 кВ. Не забуваємо, що електричних ліній на 0,38 кВ загалом не може перевищувати 3 – 4 лінії. На закінчення потрібно не забувати, що підстанція 10/0,38 кВ повинна знаходитися на території села і в найкращому випадку в місцях до найбільшої кількості потужних споживачів з максимальним віддаленням лінії 0,38 кВ не більше 600 м в довжину.

Для початку розрахунок навантажень для вузлів буде знаходитися так [7]:

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

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

$$P_{\text{дн}} = k_0 \cdot k_y \cdot n_{\text{б}} \cdot P_{\text{б}}. \quad (2.3)$$

де $P_{\text{дн}}$, $P_{\text{вч}}$ – денне та вечірнє максимальне значення навантаження об'єктів, кВт;
 k_0 – коефіцієнт одночасності, для нашої мережі становить 0,65; k_y – коефіцієнт участі навантаження для розраховуваної мережі (в денному максимумі прийнято використовувати – 0,3, а для вечірнього цей коефіцієнт становитиме – 1,0); $n_{\text{б}}$ – певна кількість будинків в окремій i – ділянці мережі; $P_{\text{б}}$ – навантаження певної кількості житлових будинків вузла (в основному будинки з газифікацією споживають – 1,8 кВт, натомість будинки, в яких відсутня газифікації споживають до – 2,2 кВт).

З формул (2.1 – 2.3) можна почати розрахунок навантаження для кожного вузла, для початку знайдемо навантаження, що стосуватимуться 1 вузла [7]:

$$P_{\partial n1} = 0,65 \cdot 0,3 \cdot 3 \cdot 1,8 = 0,972 \text{ кВт};$$

$$P_{\partial ч1} = 0,65 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 1,8 = 3,24 \text{ кВт}.$$

Для того, щоб не розтягувати кваліфікаційну роботу будуть наведені розрахунки виключно для 1 вузла, а через ідентичність розрахунків всіх інших вузлів їх результати одразу записуватимуться в таблиці. З цих заключень електричні навантаження інших вузлів заносяться в таблицю 2.1

Таблиця 2.1 – Розрахункові результати навантаження кожного вузла

Вузол	1	2	6	7	8	9
$P_{\text{дн}}, \text{ кВт}$	1.053	2.106	3.705	1.404	1.404	0.702
$P_{\text{вч}}, \text{ кВт}$	3.51	7.02	10.4	4.68	4.68	2.34
Вузол	10	12	13	14	15	16
$P_{\text{дн}}, \text{ кВт}$	3.952	1.404	1.755	6.253	11.505	1.053
$P_{\text{вч}}, \text{ кВт}$	7.54	4.68	5.85	4.81	9.1	3.51

Для найбільш точніших розрахунків беруться три цифри після коми.

За даними розрахунками таблиці 2.1 та плану села Викоти, можна скласти схему кожного з вузлів електричного навантаження для ліній 0,38 кВ. Ця схема зображена на рисунку 2.1.

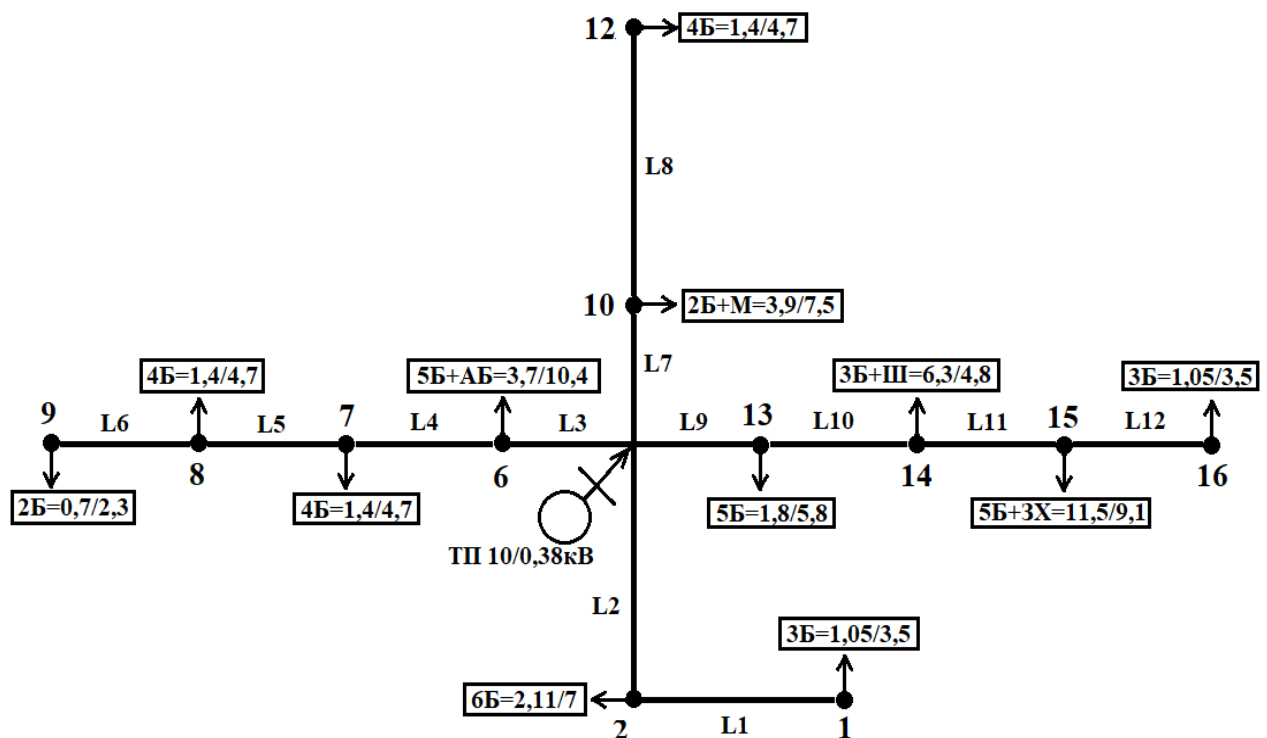


Рисунок 2.1 – Схема навантажень вузлів мережі з вказаними електричними навантаженнями споживачів

На рисунку 2.1 можна побачити кількість об'єктів, які підключені до вузла навантаження. Крім цього показано під'єднання вузлів до мережі 0,38 кВ, а разом з цим і вказано споживання навантаження кожного вузла з вузла і в день, і в ночі.

Щоб не забути виокремимо на низьку сторону вибраного нами в подальшому трансформатора вузли, які будуть під'єднані до трьох фідерів [14]: для А – відноситимуться вузли 6, 7, 8, 9, 10, 12; до В – вузли 1, 2; а до фідера С – вузли навантаження 13, 14, 15, 16, зокрема до цього ще добавиться зовнішнє освітлення вулиць, яке не буде вказане окремо через ідентичність до мережі.

За таких умов ми можемо порахувати навантаження всіх електричних вузлів на денний і вечірній період за тим же виразом (2.3) [7]:

$$P_{\Sigma \delta \text{дн}} = 0,65 \cdot 0,3 \cdot 46 \cdot 1,8 = 16,146 \text{ кВт};$$

$$P_{\Sigma \delta \text{вч}} = 0,65 \cdot 1 \cdot 46 \cdot 1,8 = 53,82 \text{ кВт}.$$

З врахуванням того, що в нашому випадку до 50 дворів входять також комунальні об'єкти, їх також потрібно обрахувати при денному та вечірньому періоді навантаження за наступною формулою [11]:

$$P_{\Sigma \kappa} = k_0 \cdot (P_M + P_{3X} + P_{AB} + P_{III}); \quad (2.4)$$

$$P_{\Sigma \kappa \text{дн}} = 0,65 \cdot (5 + 15 + 3 + 8) = 20,15 \text{ кВт};$$

$$P_{\Sigma \kappa \text{вч}} = 0,65 \cdot (8 + 5 + 7 + 2) = 14,3 \text{ кВт}.$$

Перейдемо до включення до розрахунків зовнішнього освітлення вулиць з урахуванням 1 м між освітленням і знаходиться [12]:

$$P_{\text{во}} = P_{\text{ос}} \cdot l_{\text{заг}}; \quad (2.5)$$

$$P_{\text{во}} = 1500 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 15 \text{ кВт}.$$

де $l_{\text{заг}}$ – загальна довжина вулиць села; $P_{\text{ос}}$ – питоме навантаження з врахуванням на 1 м довжини вулиці.

За допомогою знайденої величини з формули (2.5) тепер можна знайти навантаження всіх будинків і комунальних об'єктів з врахуванням освітлення [9]:

$$P_{\text{бо}} = P_{\text{осб}} \cdot n_{\text{б}}; \quad (2.6)$$

$$P_{\text{бо}} = 50 \cdot 0,250 = 12,5 \text{ кВт}.$$

де n_6 – кількість всіх об'єктів села; $P_{осб}$ – потужність, яка забезпечить безперебійну роботу освітлення (для даного випадку вона становить 0,25 кВт).

Знаходимо загальне значення для мережі враховуючи освітлення [12]:

$$P_o = P_{во} \cdot P_{бо}; \quad (2.7)$$

$$P_o = 15 \cdot 12,5 = 27,5 \text{ кВт}.$$

Знайшовши всі попередні значення навантажень, тепер ми можемо зробити остаточний розрахунок сумарного навантаження окремо для дня і вечора, плюсом враховуючи загальне навантаження на освітлення [15]:

$$P_{\Sigma \text{дн}} = 16,146 + 20,15 = 36,296 \text{ кВт};$$

$$P_{\Sigma \text{вч}} = 53,82 + 14,3 + 27,5 = 95,62 \text{ кВт}.$$

За розрахованими вище активними потужностями ми можемо здійснити розрахунок повних потужностей, але для цього нам потрібно ввести коефіцієнти потужності. Для денного періоду він становитиме – 0,9, а для вечірнього приймаємо це значення – 0,93 і отримаємо [15]:

$$S_{\Sigma \text{дн}} = \frac{P_{\Sigma \text{дн}}}{\cos \varphi_{\text{дн}}} = \frac{36,296}{0,9} = 40,329 \text{ кВА}; \quad (2.8)$$

$$S_{\Sigma \text{вч}} = \frac{P_{\Sigma \text{вч}}}{\cos \varphi_{\text{вч}}} = \frac{95,62}{0,93} = 102,817 \text{ кВА}. \quad (2.9)$$

За таких умов для нас виникає необхідність створення таблички, в якій будуть наведені кожні ділянки ліній електропередач, вказані сумарні потужності для будинків, також вказано потужність спожиту протягом дня і вечора комунальними об'єктами. Відштовхуючись від цього вказуються потужності в залежності від кількості і дальності ліній на певних ділянках [4].

Таблиця 2.2 – Навантаження кожної ділянки лінії розглянутої мережі 0,38кВ

Лінія	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
К-сть будинків	3	9	15	10	6	2	6	4	16	11	8	3
Сума навантажень, кВт (вечір)	5.4	16.2	27	18	10.8	3.6	10.8	7.2	28.8	19.8	14.4	5.4
К-сть об'єктів	0	0	1	0	0	0	1	0	2	2	1	0
Сума навантажень, кВт (день)	0	0	3	0	0	0	5	0	23	23	15	0
Сума навантажень, кВт (вечір)	0	0	7	0	0	0	8	0	7	7	5	0

Наведені активні потужності в таблиці 2.2 зазначені виокремлено один від одного для кожної ділянки електричної мережі. Щоб знайти загальну потужність для ділянки лінії ми виконуємо всі ті самі дії, що виконували для розрахунку навантажень кожного вузла нашої системи, тому враховуємо і навантаження будинків і комунальних об'єктів ділянки. Для наглядного прикладу проведемо розрахунки першої ділянки ліній електропередач, одразу враховуючи всіх споживачів для двох періодів [4]:

$$P = k_0 \cdot k_y \cdot n_{\text{б}} \cdot P_{\text{б}} + P_{\text{к}}; \quad (2.10)$$

$$P_{1\text{дн}} = 0,65 \cdot 0,3 \cdot 3 \cdot 1,8 = 1,053 \text{ кВт};$$

$$P_{1\text{вч}} = 0,65 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 1,8 = 3,51 \text{ кВт}.$$

Таблиця 2.3 – Навантаження для мережі 0,38 кВ без врахування освітлення

Лінія	1	2	3	4	5	6
$P_{\text{дн}}, \text{ кВт}$	1.053	3.159	8.265	3.51	2.106	0.702
$P_{\text{вч}}, \text{ кВт}$	3.51	10.53	24.55	11.7	7.02	2.34
Лінія	7	8	9	10	11	12
$P_{\text{дн}}, \text{ кВт}$	7.106	1.404	28.616	26.861	17.808	1.053
$P_{\text{вч}}, \text{ кВт}$	15.02	4.68	25.72	19.87	14.36	3.51

Тепер при розрахунках потрібно врахувати зовнішнє освітлення для будинків та комунальних об'єктів окремих ділянок. Для цього знову за приклад візьмемо першу ділянку [7]:

$$P_{\text{вч}0} = P_{\text{вч}} + (n_{\text{б}} + n_0) \cdot P_{\text{осб}}; \quad (2.11)$$

$$P_{1\text{вч}0} = 3,51 + 3 \cdot 0,25 = 4,26 \text{ кВт}.$$

За таким самим принципом розраховуємо всі інші ділянки для вечірнього періоду і заповнюємо таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Навантаження для мережі 0,38 кВ з врахуванням освітлення

Лінія	1	2	3	4	5	6
$P_{\text{дн}}, \text{ кВт}$	1.053	3.159	8.265	3.51	2.106	0.702
$P_{\text{вч}}, \text{ кВт}$	4.26	12.78	28.55	14.2	8.52	2.84
Лінія	7	8	9	10	11	12
$P_{\text{дн}}, \text{ кВт}$	7.106	1.404	28.616	26.861	17.808	1.053
$P_{\text{вч}}, \text{ кВт}$	16.77	5.68	30.22	23.12	16.11	4.26

З таблиці 2.4 можна порахувати повні потужності для кожної з ділянок. Як і в попередніх формулах (2.8) і (2.9) використовується коефіцієнт потужності, який залишається не змінним [7]:

$$S_{\Sigma_{дн}} = \frac{P_{\Sigma_{дн}}}{\cos \varphi_{дн}} = \frac{1.053}{0,9} = 1,17 \text{ кВА}; \quad (2.12)$$

$$S_{\Sigma_{вч}} = \frac{P_{\Sigma_{вч}}}{\cos \varphi_{вч}} = \frac{4.26}{0,93} = 4,581 \text{ кВА}. \quad (2.13)$$

За таким самим принципом розраховуємо повні потужності для інших ділянок. Результати вносимо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахункові повні навантаження кожної ділянки мережі

Лінія	1	2	3	4	5	6
$S_{дн}$, кВт	1.17	3.51	9.183	3.9	2.34	0.78
$S_{вч}$, кВт	4.581	13.742	30.699	15.269	9.161	3.054
Лінія	7	8	9	10	11	12
$S_{дн}$, кВт	7.896	1.56	31.796	29.846	19.787	1.17
$S_{вч}$, кВт	18.032	6.108	32.495	24.86	17.323	4.581

На закінчення розрахунків мережі необхідно розрахувати струми для кожної з ділянок електричної мережі розмірністю 0,38кВ [3]:

$$I_i = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}; \quad (2.14)$$

$$I_{1дн} = \frac{1,17}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1,778 \text{ А};$$

$$I_{1вч} = \frac{4,581}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 6,96 \text{ А}.$$

Незмінно заповнюємо таблицю 2.6 знаходячи інші струми ділянок.

Таблиця 2.6 – Розрахункові струми кожної ділянки мережі 0,38 кВ

Лінія	1	2	3	4	5	6
$I_{дн}$, кВт	1.778	5.333	13.953	5.925	3.555	1.185
$I_{вч}$, кВт	6.96	20.879	46.642	23.19	13.91	4.64
Лінія	7	8	9	10	11	12
$I_{дн}$, кВт	11.996	2.37	48.308	45.34	30.063	1.778
$I_{вч}$, кВт	27.39	9.279	49.37	37.771	26.319	6.96

2.2 Розрахунок потужності трансформатора та вибір трансформаторної підстанції 10 кВ/0,38 кВ

За звичними нормами завжди будь-який трансформатор вибирають за таким співвідношенням: $S_{\text{ном}} k_n > S_{\text{розр}}$. З нього видно, що розрахована нами повна потужність ($S_{\text{розр}}$) повинна бути меншою за добуток номінальної повної потужності для трансформатора ($S_{\text{ном}}$) і допустимого коефіцієнта перенавантаження для трансформатора або іншими словами коефіцієнта запасу потужності (k_n). Потрібно розуміти, що в селі Викоти відсутні споживачі, які могли б відноситися до I або II категорії по важливості надійності електроживлення тому враховуємо тільки можливість зростання навантаження обладнання. За таких умов коефіцієнт запасу можна прирівняти до 0,9.

У зв'язку з тим, що вечірнє навантаження без виключень завжди перевищує денне, ми приймаємо його за розрахункове і з нього робимо висновки при виборі трансформатора ($S_{\text{розр}} = S_{\Sigma \text{вч}} = 102,817 \text{ кВА}$).

За наведеними вище умовами ми можемо розрахувати потужність для трансформатора після чого обрати його тип [13]:

$$S_T \geq \frac{S_{\text{розр}}}{1,4} = \frac{102,817}{1,4} = 73,441 \text{ кВт}. \quad (2.15)$$

За довідником [13] приймаємо для використання трансформатор типу ТМ-100-10/0,4 кВ. Для даного трансформатора властиві п'ять відгалужень на високій стороні – 0, $\pm 2,5\%$, $\pm 5\%$. Для подальших розрахунків представимо таблицю 2.7, в якій будуть наведені параметри даного типу.

Таблиця 2.7 – Параметри трансформатора типу ТМ-100-10/0,4 кВ [13].

$S_{\text{ном}}$	$U_{\text{Вном}}$	$U_{\text{Нном}}$	Схема та група з'єднань	$\Delta P_{\text{нх}}$	$\Delta P_{\text{кз}}$	$U_{\text{кз}}$	$I_{\text{нх}}$
кВА	кВ	кВ	-	кВт	кВт	%	%
100	10	0,4	Y/Y _н -0	0,36	1,97	4,5	2,6

З таблиці 2.7 проведемо розрахунки повного, активного та реактивного опору трансформатора [15]:

$$z_T = \frac{U_{кз}}{100} \cdot \frac{U_{Вном}^2}{S_{ном} \cdot 10^{-3}}; \quad (2.16)$$

$$z_T = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{10^2}{100 \cdot 10^{-3}} = 45 \text{ Ом};$$

$$r_T = P_{кз} \cdot \frac{U_{Вном}^2}{S_{ном} \cdot 10^{-3}}; \quad (2.17)$$

$$r_T = 1,97 \cdot \frac{10^2}{100 \cdot 10^{-3}} = 19,7 \text{ Ом};$$

$$x_T = \sqrt{z_T^2 - r_T^2}; \quad (2.18)$$

$$x_T = \sqrt{45^2 - 19,7^2} = 40,4 \text{ Ом};$$

За всіма даними для нашої електричної мережі ми будемо трансформаторну підстанцію КТП-100-10/0,4 [6], яка матиме вольтаж 10/0,4 кВ. Обрана нами трансформаторна підстанція буде зображена блочним виконанням, яка буде складатися спочатку з елементів високої сторони 10 кВ: до таких елементів обов'язково входить силовий трансформатор 10/0,4 кВ плюсом до цього будуть розподільчі пристрої ідентичної вольтажі, до них буде входити роз'єднувач з ножами для заземлення, який розташований на опорі найбільш приближеної до лінії електропередач, на заключення сюди вводитиме захист від виникнення коротких замикань, таким пристроєм стане запобіжник на 10 кВ. Друга половина підстанції буде стосуватися 0,4 кВ і складатиметься з шафи, в якій буде розміщений рубильник відповідаючий за вентиляльні розрядники. Щоб проводити облік спожитої електроенергії підключені три- і двофазні трансформатори для виміру струмів, для захисту основного трансформатора від неочікуваних перенавантажень. За захист мережі, яка відповідає за електричне освітлення використовуються запобіжники на напруги 0,4 кВ. Основним захистом нижньої сторони лінії являються автоматичні вимикачі для майже миттєвого спрацювання (долі секунди).

2.3 Розрахунок та вибірка перерізу проводів мережі 10 кВ та 0,38 кВ

Охопивши розрахунок ліній електропередач потрібно приділити увагу вибору перерізу проводів, але беручи до врахування залежність від максимально допустимих втрат напруги на ділянках лінії. Зсилаючись на ПУЕ всі повинні розуміти, що проводи лінії виконуються однієї розмірності і виконання її різними перерізами проводів стараються уникати. За приклад розрахунки проводів магістралі можна виконати за методикою, розкритою в посібнику [6]:

$$\Delta U = \sqrt{3}(r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) \sum_{i=1}^n I_i l_i = \Delta U_a = \Delta U_p. \quad (2.19)$$

де n – кількість ділянок магістралі; I_i, l_i – струм та довжина i -ї ділянки магістралі; r_0, x_0 – питомі активний та реактивний опори лінії електропередачі; $\Delta U_a, \Delta U_p$ – активна та реактивна складові втрати напруги.

З точки зору вартості погонного реактивного опору для знайдених в подальшому провідниках [10] становитиме не більше ніж 0,3 – 0,35 Ом/км, з таких заключень переріз провідників незначною мірою може вплинути на величину опору лінії. У зв'язку з цим для початку ці значення для нас будуть незмінними при розрахунку кожної з ліній і буде становити 0,3 Ом/км. Тому для прокладу розберемо вибір провідників у магістралі 0 – 2. За допустимими нормами для мереж 0,4 кВ допускаються втрати напруги до 5%, в нашому випадку – 0,019 кВ.

Перед розрахунком знайдемо реактивні потужності для кожної ділянки:

$$Q_i = P_i \tan \varphi. \quad (2.20)$$

Таблиця 2.8 – Реактивна потужність кожної ділянки мережі

Лінія	1	2	3	4	5	6
$Q_{дн}, \text{кВт}$	0.51	1.53	4.003	1.7	1.02	0.34
$Q_{вч}, \text{кВт}$	1.684	5.051	11.284	5.612	3.36	1.122
Лінія	7	8	9	10	11	12
$Q_{дн}, \text{кВт}$	3.442	0.68	13.859	13	8.625	0.51
$Q_{вч}, \text{кВт}$	6.628	2.245	11.944	9.138	6.367	1.684

Тепер переходимо до розрахунку реактивної складової ділянки 0 – 2 при падінні напруги, за виразом [10]:

$$\Delta U_p = \frac{x_0}{U_{ном}} \sum_{i=1}^n Q_i \cdot l_i; \quad (2.21)$$

$$\Delta U_{p0-2} = \frac{0,35}{0,4} \cdot (1,684 \cdot 0,2 + 5,051 \cdot 0,3) = 1,621 \text{ В}.$$

У зв'язку з цим знайдемо допустимі значення активної складової для падіння напруги [10]:

$$\Delta U_{ад} = \Delta U_{\delta} - \Delta U_p = 19 - 1,621 = 17,379 \text{ В}.$$

Звідси переріз проводів взятої за приклад ділянки 0 – 2 знаходитиметься [3]:

$$F_{0-2 \text{ розр}} = \frac{P_1 \cdot l_1 + P_2 \cdot l_2}{U_{ном} \cdot \Delta U_{ад} \cdot g}; \quad (2.22)$$

$$F_{0-2 \text{ розр}} = \frac{4,26 \cdot 0,2 + 12,78 \cdot 0,3}{0,4 \cdot 0,0174 \cdot 32} = 22,147 \text{ мм}^2.$$

За значенням наведеним вище можна дійти висновків, що магістраль 0-2 можна виконувати алюмінієвим проводом марки А-25.

Ідентично проводяться розрахунки для інших ділянок магістралей. Після чого підбираємо перерізи проводів і вносимо в таблицю 2.9:

Таблиця 2.9 – Вибірка проводів для кожної лінії мережі [8]

Лінії мережі 0,4 кВ	Марка проводу	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	Доп. струм, А
1, 2, 10, 12	А-25	1,2	0,319	136
6, 7, 8, 9, 13, 14, 15, 16	А-50	0,46	0,283	265

На завершення з низькою стороною 0,38 кВ проведемо розрахунки щодо втрат напруги у всіх магістралях при допустимих нормах $\Delta U_{\delta} = 19 \text{ В}$.

Таблиця 2.10 – Розрахункові втрати напруги у кожній магістралі мережі.

Магістраль	0 – 2	0 – 9	0 – 12	0 – 16
ΔU , В	17,4	16,8	17,7	16,3

За результатами таблиці 2.10 можна сказати, що всі розрахунки знаходяться в нормах допустимих значень [5].

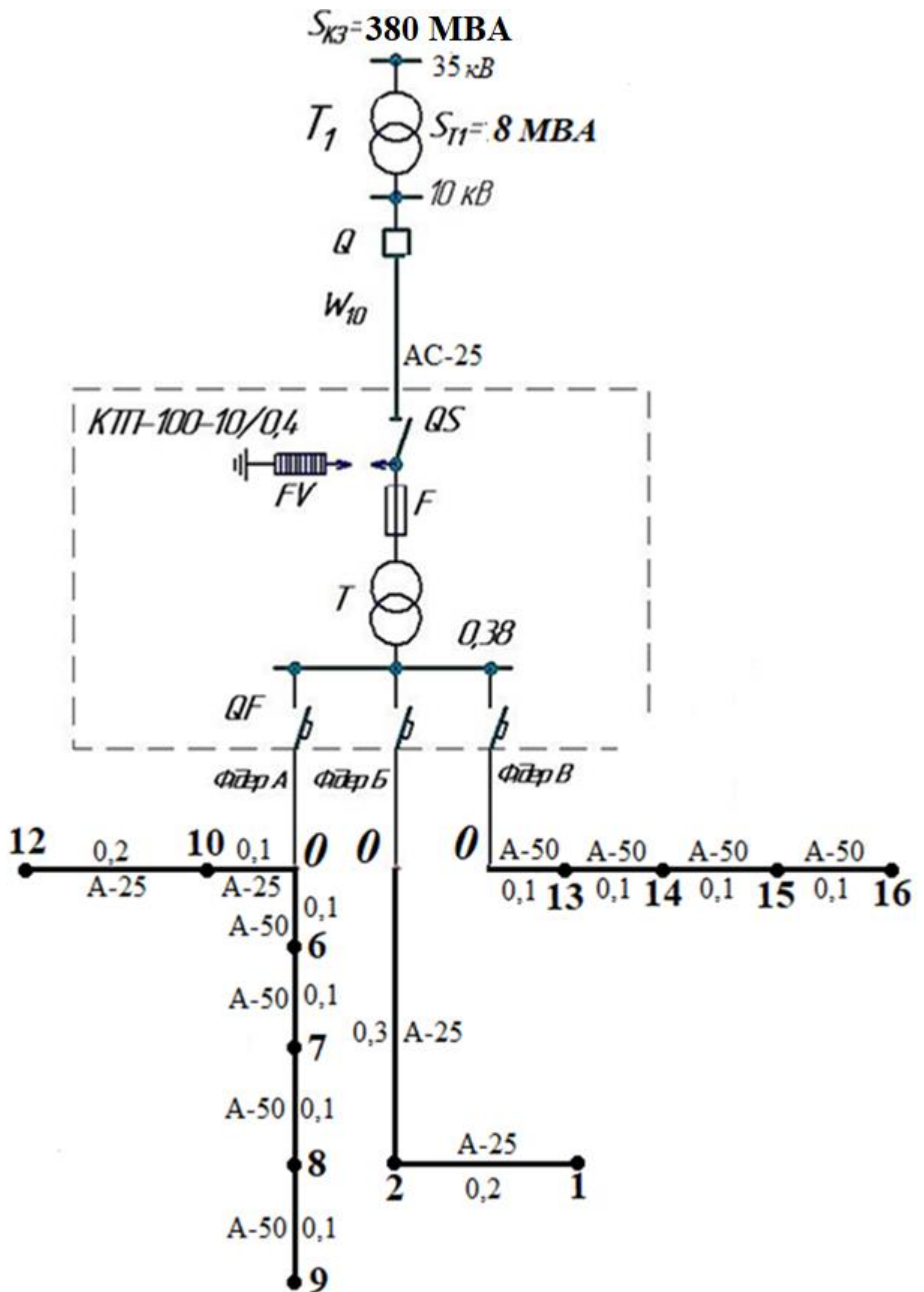


Рисунок 2.2 – Схема електричної мережі для села Викоти

Перейдемо до розрахунку проводів на вищій стороні, але основну увагу потрібно приділити допустимим втратам напруги, яка в нашому випадку не повинна перевищувати напругу в 400 В, що становить 5% від основного значення [8]:

$$\Delta U_p^{10} = \frac{0,35}{10} \cdot (39 \cdot 4,5) = 6,142 \text{ В};$$

$$\Delta U_{ad}^{10} = 400 - 6,142 = 393,858 \text{ В};$$

$$F_{розр}^{10} = \frac{102,817 \cdot 4,8}{10 \cdot 0,394 \cdot 32} = 3,671 \text{ мм}^2.$$

В результаті ми отримали переріз проводу для лінії електропередачі на 10 кВ. З огляду на ПУЕ [9] для мережі напругою 10 кВ допустима норма перерізу становить 25 мм², тому необхідно застосовувати сталевалюмінієвий провід марки АС з січенням в 25 мм². Тому в таблиці 2.11 наведені параметри даного проводу.

Таблиця 2.11 – Параметри проводу марки АС-25 для мережі 10 кВ [9]

Лінія мережі 10 кВ	Марка проводу	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	Допустимий струм, А
ТП 35 кВ – ТП 10 кВ	АС - 25	1,146	0,377	135

Вираховуючи втрату напруги, яка стосується 10 кВ можна сказати, що провід марки АС-25 при максимальному режимі навантаження втрачає 32,3 В, що складає 0,3% ввід допустимих значень.

2.4 Розрахунок аварійних режимів роботи мережі

Піднімаючи питання аварійних режимів є потреба розробки схеми заміщення розглянутої нами мережі, для цього можна використати одну з фаз. Тому перейдемо до схеми заміщення, яка зображена на рисунку 2.3. За цією схемою можна сказати, що джерело живлення виділене як еквівалентний опір для електроенергетичної системи та має певну електрорушійну силу, а трансформаторна підстанція на напругу 35/10 кВ позначиться гілкою RL. Перейдемо до нижньої сторони підстанції, а саме 10/0,38 кВ, не залежно від різниці між високою і низькою її також можна позначати як повздовжню гілку

RL. Щоб облегшити подальші розрахунки ми приймаємо всі елементи наведеної нами схеми номінальним напругам.

Щоб розраховувати короткі замикання опір для мережі 0,38 кВ буде стосуватися до опору петлі, вона буде а основному складатися виключно з фазного проводу, крім цього буде застосований нульовий провідник з урахуванням повторних дій заземлення на землю [8].

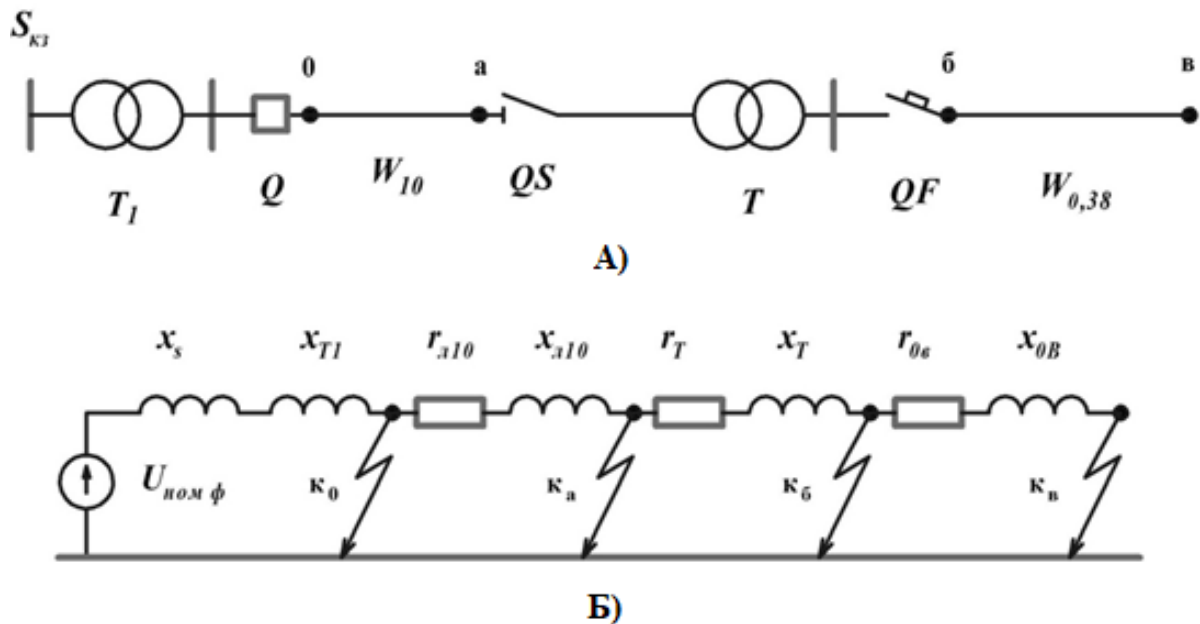


Рисунок 2.3 – Принципова (А) та заступна (Б) схеми заміщення для розрахунку непередбачених виникнень струмів короткого замикання.

Розпочнемо розрахунок сторони 10 кВ, з еквівалентного опору електроенергетичної системи на напругу 35 кВ і обчислюватиметься за виразом [8]:

$$x_s = \frac{U_{ном}^2}{S_{кз}} = \frac{100}{380} = 0,263 \text{ Ом.} \quad (2.23)$$

Розрахунок реактивного опору для трансформатора 35/10 кВ здійснюється за таким виразом [8]:

$$x_{T1} = \frac{U_{кз}}{100} \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{T1}} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{100}{73,44} = 1,41 \text{ Ом.} \quad (2.24)$$

Зазначимо опори, які стосуються лінії 10 кВ - $x_{л10} = 1,6 \text{ Ом}$; $r_{л10} = 5,6 \text{ Ом}$, а також опори трансформатора напруг 10/0,4 кВ - $x_T = 40,4 \text{ Ом}$; $r_T = 19,7 \text{ Ом}$.

Для лінії 10 кВ проведемо розрахунки струмів короткого замикання в названій точці 0 для дво- і трьохфазної мережі, їх будемо розраховувати так [4]:

$$z_{\Sigma 0} = x_{T1} + x_s = 1,41 + 0,263 = 1,673 \text{ Ом}; \quad (2.25)$$

$$I_{K0}^{(3)} = \frac{1000 \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma 0}} = \frac{1000 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 1,673} = 3450,98 \text{ А}; \quad (2.26)$$

$$I_{K0}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{K0}^{(3)} = 0,87 \cdot 3450,98 = 3002,35 \text{ А}. \quad (2.27)$$

Щоб знайти опори та струми для вищої сторони трансформатора 10/0,4 кВ за умов трифазного і двофазного замикання вже наступній точці а потрібно звернутися до наступних формул [5]:

$$z_{\Sigma a} = \sqrt{(x_{T1} + x_s + x_{л10})^2 + r_{л10}^2}; \quad (2.28)$$

$$z_{\Sigma a} = \sqrt{(1,673 + 0,263 + 1,6)^2 + 5,6^2} = 6,62 \text{ Ом};$$

$$I_{Ka}^{(3)} = \frac{1000 \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma a}} = \frac{1000 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 6,62} = 872,13 \text{ А}; \quad (2.29)$$

$$I_{Ka}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{Ka}^{(3)} = 0,87 \cdot 872,13 = 758,75 \text{ А}. \quad (2.30)$$

За таким самим принципом рахуємо струми замикання для точки б [5]:

$$z_{\Sigma b} = \sqrt{(x_{T1} + x_s + x_{л10} + x_T)^2 + (r_{л10} + r_T)^2}; \quad (2.31)$$

$$z_{\Sigma b} = \sqrt{(1,673 + 0,263 + 1,6 + 40,4)^2 + (5,6 + 19,7)^2} = 50,69 \text{ Ом};$$

$$I_{Kb}^{(3)} = \frac{1000 \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma a}} = \frac{1000 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 50,69} = 113,9 \text{ А}; \quad (2.32)$$

$$I_{Kb}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{Kb}^{(3)} = 0,87 \cdot 113,9 = 99,1 \text{ А}. \quad (2.33)$$

Тепер розрахуємо струми короткого замикання для нижньої сторони трансформатора 0,38 кВ у все тій же точці б за даним виразом [11]:

$$I_{Kbn}^{(3)} = \frac{U_{Вном}}{U_{Нном}} \cdot I_{Kb}^{(3)} = \frac{10}{0,4} \cdot 113,9 = 2847,5 \text{ А}; \quad (2.34)$$

$$I_{Kbn}^{(2)} = \frac{U_{Вном}}{U_{Нном}} \cdot I_{Kb}^{(2)} = \frac{10}{0,4} \cdot 99,1 = 2477,5 \text{ А}. \quad (2.33)$$

Якщо взяти до уваги опори мережі 10 кВ, а також еквівалентної системи 35 кВ, можна їх не враховувати при обчисленнях, тому що вони і так в рази менші за опір самого трансформатора. З цим урахуванням розрахуємо струми замикань

для тих вузлів, які знаходяться якнайдалі від мережі 0,38 кВ, в нашому випадку це везли 1, 9 і 16. Для цього використаємо такий вираз [13]:

$$z_{\Sigma 6} = z_{\Sigma 6} \cdot \left(\frac{U_{Hном}}{U_{Bном}} \right)^2 + z_{06}. \quad (2.34)$$

За таких умов для вузлів в= 1, 9 і 16 проведемо такі розрахунки [13]:

$$z_{31} = 0,536 \text{ Ом}, \quad z_{\Sigma 1} = 50,69 \cdot \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 + 0,536 = 0,617 \text{ Ом};$$

$$z_{39} = 0,431 \text{ Ом}, \quad z_{\Sigma 1} = 50,69 \cdot \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 + 0,431 = 0,512 \text{ Ом};$$

$$z_{316} = 0,37 \text{ Ом}, \quad z_{\Sigma 1} = 50,69 \cdot \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 + 0,37 = 0,451 \text{ Ом}.$$

Тоді струми для цих вузлів будуть розраховуватися так [14]:

$$I_{K1н}^{(3)} = \frac{380}{0,617} = 615,9 \text{ А}, \quad I_{K1н}^{(2)} = 503,2 \text{ А};$$

$$I_{K9н}^{(3)} = \frac{380}{0,512} = 742,2 \text{ А}, \quad I_{K9н}^{(2)} = 645,7 \text{ А};$$

$$I_{K9н}^{(3)} = \frac{380}{0,451} = 842,6 \text{ А}, \quad I_{K9н}^{(2)} = 733 \text{ А};$$

Після цих розрахунків можна перейти нарешті до розрахунків однофазних коротких замикань, які знаходяться за формулою [15]:

$$I_{K6н}^{(1)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{z_{T0}}{3} + z_{н6} \right)}. \quad (2.35)$$

де $z_{T0}=1,63$ Ом – опір нульової послідовності трансформатора під час замикання фази на корпус; $z_{пв}$ - опір петлі «фаза – нульовий провід» для відповідного вузла к.з. (в=1, 9, 16) [15]:

$$z_{н6} = \frac{z_{06}}{3} \cdot (2 + 3,5); \quad (2.36)$$

$$z_{н61} = \frac{0,536}{3} \cdot (2 + 3,5) = 0,98 \text{ Ом};$$

$$z_{н69} = \frac{0,431}{3} \cdot (2 + 3,5) = 0,79 \text{ Ом};$$

$$z_{н616} = \frac{0,37}{3} \cdot (2 + 3,5) = 0,68 \text{ Ом}.$$

На закінчення розрахуємо струми для однофазного короткого замикання при спрацюваннях на землю за такою методикою [6]:

$$I_{K1н}^{(1)} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{1,63}{3} + 0,98 \right)} = 143,9 \text{ А};$$

$$I_{K9н}^{(1)} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{1,63}{3} + 0,79 \right)} = 164,5 \text{ А};$$

$$I_{K16н}^{(1)} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{1,63}{3} + 0,68 \right)} = 179,2 \text{ А}.$$

2.5 Розрахунок параметрів релейної апаратури

Захист трансформатора зі сторонами 10/0,38 кВ. Для нашого трансформатора з потужністю 100 кВА досить добре забезпечить захист плавкий запобіжник, який розташовуватися на високій стороні напруги. Основними критеріями для вибору запобіжника для трансформаторів будуть такі [14]:

- напруга ідентична номінальній напрузі в мережі $U_{зап} = U_{ном}$;
- при встановленні номінальний струм пробою повинний бути завжди за струми виникнувшого короткого замикання $I_{н\text{ вимк}} \geq I_{кз\text{ макс}}$;
- потрібен номінальний струм такий, щоб плавка вставка співвідносилася до номінальних струмів, що проходять трансформатором $I_{вст} \approx 2 I_{т\text{ ном}}$;

Виходячи з наведених вище критеріїв при трансформаторі в 100 кВА найдоцільніше використання запобіжників з номінальними струмами в діапазоні 10 А. У такому випадку найкраще використати запобіжник типу ПКТ-10-10-31,5УЗ з основними параметрами, які наведені в таблиці 2.12:

Таблиця 2.12 – Параметри запобіжника типу ПКТ-10-10-31,5УЗ [14]

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

Захист електричної мережі для напруги в 0,38 кВ. В наших умовах для захисту нижньої сторони підходять автоматичні вимикачі. Для їх вибірки потрібно розглянути їх загальні критерії для мережі [14]:

- залежність від номінальних значень напруги мережі $U_{авт} = U_{ном}$;
- струм автоматичного вимикача повинен бути більшим в рази за струми при навантаженні $I_{рв} \geq I_{нав}$;
- вмонтований в автомат напівпровідниковий розчіплювач повинен мати струм спрацювання значно більших значень ніж струми, що протікають в магістралях $I_{сн} \geq 1,4 I_{мр}$;
- за наявності однофазного короткого замикання, яке може виникнути в кінці магістралі розчіплювач автомата повинен перевищувати ці значення $I_{срн} \geq 1,25 \cdot 0,3 I_{мр}$;
- кожен напівпровідниковий розчіплювач має свій коефіцієнт чутливості $k_{ч} = \frac{I_{кз}^2}{I_{сн}} \geq 1,1$.
- за прийнятими нормами номінальна напруга для будь-якого автоматичного вимикача повинна бути більша за розрахункові $U_{авт} = 660 \text{ В} > U_{ном} = 380 \text{ В}$.

Крім наведених вище критеріїв є вимоги щодо вибору уставок розчеплювача враховуючи номінальні струми, які йдуть на фідер [14]:

$$A \rightarrow I_{навA} = 46,64 \text{ А}, \quad I_{рвA} = 50 \text{ А};$$

$$B \rightarrow I_{навB} = 20,88 \text{ А}, \quad I_{рвB} = 30 \text{ А};$$

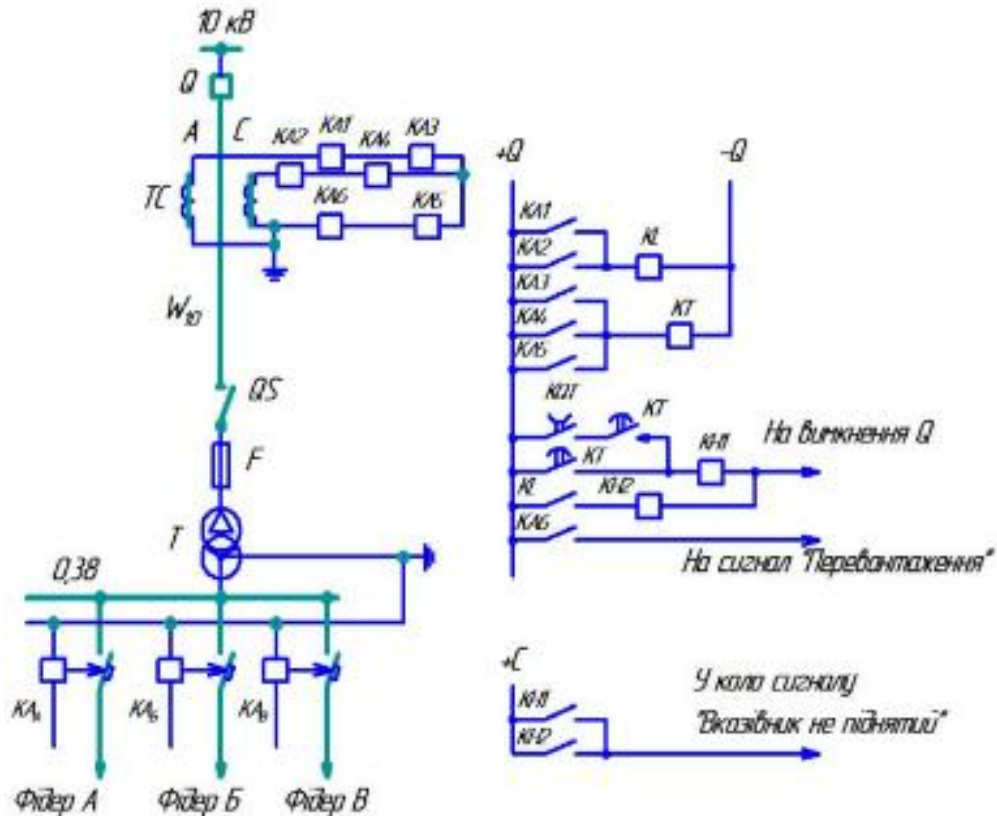
$$C \rightarrow I_{навC} = 49,37 \text{ А}; \quad I_{рвC} = 50 \text{ А}.$$

Проведемо розрахунки уставок при умовах спрацювання розчіплювача при перевищенні допустимих значень струмів, але не забуваємо про ефективний і надійний захист системи [14].

$$A \rightarrow I_{chA} = 70 A \geq 1,4 \cdot I_{mpA} = 1,4 \cdot 46,64 = 65,3 A;$$

$$B \rightarrow I_{chB} = 30 A \geq 1,4 \cdot I_{mpB} = 1,4 \cdot 20,9 = 29,26 A;$$

$$C \rightarrow I_{chC} = 70 A \geq 1,4 \cdot I_{mpC} = 1,4 \cdot 49,37 = 69,1 A.$$



ТС	Трансформатори струму ТП/К-10
КА1-КА6	Реле струму РТ-40
КТ	Реле часу типу РВ-122
КЛ	Проміжне реле типу РП-23 чи РП-251
КН1, КН2	Вказівні реле типу РЧ-1
КQT	Контакт реле положення "вимкнено" вимикача Q
КА _A , КА _B , КА _C	Реле струму в нейтралях ліній 0,38 кВ

Рисунок 2.4 – Принципова схема з елементами релейного захисту для електричної мережі

Проведемо розрахунки для наступного критерію, а саме коефіцієнт чутливості. Даний параметр буде досить важливий у зв'язку з тим, що показує на скільки розчеплювач реагує на різну зміну струму в мережі [14]:

$$A \rightarrow k_u = I_K^{(2)} / I_{ch} = I_{K1n}^{(2)} / I_{chA} = 503,2 / 50 = 10 A;$$

$$B \rightarrow k_u = I_K^{(2)} / I_{сн} = I_{K9н}^{(2)} / I_{снB} = 645,7 / 30 = 21,5 A;$$

$$C \rightarrow k_u = I_K^{(2)} / I_{сн} = I_{K16н}^{(2)} / I_{снC} = 733 / 50 = 14,7 A;$$

Тепер для огляду розрахуємо струми коротких замикань, які заставили розчеплювач спрацювати і розрахуємо їх так [14]:

$$A \rightarrow I_{с рн} = 1,25 \cdot 0,3 I_{мр} = 1,25 \cdot 0,3 \cdot 46,64 = 17,5 A;$$

$$B \rightarrow I_{с рн} = 1,25 \cdot 0,3 I_{мр} = 1,25 \cdot 0,3 \cdot 20,9 = 7,83 A;$$

$$C \rightarrow I_{с рн} = 1,25 \cdot 0,3 I_{мр} = 1,25 \cdot 0,3 \cdot 49,4 = 18,52 A.$$

На закінчення прийmemo [14]:

$$A \rightarrow I_{с рн} = 20 A; < I_{K1н}^{(1)} / 2 = 143,9 / 2 = 71,95 A;$$

$$B \rightarrow I_{с рн} = 20 A; < I_{K9н}^{(1)} / 2 = 164,5 / 2 = 82,25 A;$$

$$B \rightarrow I_{с рн} = 20 A; < I_{K16н}^{(1)} / 2 = 179,2 / 2 = 89,6 A;$$

Струм для спрацювання електромагнітного розчіплювача буде становити $I_{сн} = 1600 A$. З цієї точки зору можна сказати, що спрацювання відбуватимуться миттєво і безперебійно, а саме розчеплювач відмикатиме той фідер на якому відбудеться коротке замикання.

З КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1 Підходи для компенсації реактивної потужності

По-перше для компенсації реактивної потужності можна застосовувати певні компенсаційні пристрої. По-друге, компенсації можна досягнути виконуючи певні заходи, якими можна досягнути балансу реактивної потужності. Досягнути цього можна наприклад збільшенням генерування в мережах, апаратах реактивної потужності або піти в зворотню сторону і зменшити кількість споживання.

У зв'язку з цим не залежно від вибору методу компенсації його можна класифікувати або до активної, або до пасивної компенсації реактивної потужності. Для початку розберемо їх, активні підходи будуть стосуватися виключно генерації реактивної потужності та можливостями її інтегрування в мережу, а з іншої сторони пасивні підходи будуть спрямовані на зменшення кількості реактивної потужності для споживання її мережею.

Для більш детального розуміння розберемо деякі методи. Розпочнемо з пасивних, якими передбачається розвантаження мережі від впливу реактивної потужності на неї [8]:

- зміна перемикання з'єднання обмоток асинхронних моторів з трикутника в зірку, при їх роботі в стані недовантаженості;
- частішого використання синхронних апаратів на відміну від асинхронних при розробці нових планів проектів, у зв'язку з можливістю перших самостійно компенсувати реактивну потужність;
- виведення з роботи трансформаторів, які працюють всього до 30% від своїх номінальних значень, плюсом припинити використання асинхронних апаратів, які періодично працюють в режимі неробочого ходу;
- обмеження при нормуванні генерації струмів гармонік або використання випрямних елементів для систем з штучною комутацією.

Розглянемо і активні способи, щоб розуміти відмінність між цими класифікаціями [12]:

- використання конденсаторних батарей для компенсації реактивної потужності;
- введення в мережу синхронних компенсаторів для стабілізації напруги за умови роботи їх без завантаженості валу;
- використання компенсаційних пристроїв при певних способах компенсації, а саме індивідуального та групового;
- введення тиристорних компенсаторів для статичної компенсації.

3.2 Розрахунок потужності і ємності компенсуючих пристроїв

Розрахунок потужності, а також самої ємності батареї конденсаторів можна провести за певної методики [15]. Щоб забезпечити компенсацію для всіх магістралей наших ліній найдоцільніше встановлення компенсаційних пристроїв на розрахованій трансформаторній підстанції.

При розрахунках будемо розглядати конденсаторні батареї, які будуть мати одне з'єднання в зірку і як другий варіант з'єднання в трикутник. На даний момент коефіцієнт потужності для розрахованої мережі знаходиться на досить середньому значенні в 0,75. Для покращення результатів найкращим рішенням є підключення компенсаційних пристроїв у виді конденсаторної батареї після чого цей коефіцієнт піднявся до кращих значень в 0,9.

Для початку розглянемо з'єднання батареї в зірку, тому струм і реактивна потужність для фаз можна буде розраховувати за таким принципом [11]:

$$I_K = \frac{U_\Phi}{X_C} = \frac{U_\Phi}{1/(\omega C)} = \frac{U_L \omega C}{\sqrt{3}}; \quad (3.1)$$

$$Q_K = \sqrt{3} U_L I_K = \sqrt{3} U_L \frac{U_L \omega C}{\sqrt{3}} = U_L^2 \omega C. \quad (3.2)$$

Для зміни одного кута на інший виникає необхідність до зміни конденсаторних струмів, для вирахування застосовують таку формулу [11]:

$$I_K = I_{P1} - I_{P2} = I_{La} \operatorname{tg} \varphi_1 - I_{La} \operatorname{tg} \varphi_2 = I_{La} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2). \quad (3.3)$$

Зробивши підстановку виразу (3.3) в (3.2) та виразивши ємність, можна отримати саму формулу ємності для однієї фази конденсатора [9]:

$$C_Y = \frac{Q_K}{\omega U_{\text{Л}}^2} = \frac{\sqrt{3} U_{\text{Л}} I_K}{\omega U_{\text{Л}}^2}; \quad (3.4)$$

$$C_Y = \frac{\sqrt{3} I_{La}}{\omega U_{\text{Л}}} \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2). \quad (3.5)$$

При другому типі з'єднання, а саме трикутником то ті ж самі ємності, струми ліній та реактивну потужність можна розраховувати так [4]:

$$I_K = \sqrt{3} I_{K\Phi} = \sqrt{3} U_{\text{Л}} \omega C_{\Delta}; \quad (3.6)$$

$$Q_K = \sqrt{3} U_{\text{Л}} I_K = 3 U_{\text{Л}}^2 \omega C_{\Delta}; \quad (3.7)$$

$$C_{\Delta} = \frac{Q_K}{3 U_{\text{Л}}^2 \omega} = \frac{\sqrt{3} U_{\text{Л}} I_K}{3 U_{\text{Л}}^2 \omega}; \quad (3.8)$$

$$C_{\Delta} = \frac{I_{La}}{\sqrt{3} U_{\text{Л}} \omega} \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2). \quad (3.9)$$

Перейдемо до розрахунків першого та другого кута [5]:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi}; \quad (3.10)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{1 - 0,75^2}}{0,75} = 0,88;$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{1 - 0,9^2}}{0,9} = 0,484.$$

Знайдемо активну складову струму звернувшись до такої формули [12]:

$$I_{La} = \frac{S_{\Sigma \text{вч}}}{\sqrt{3} U_{\text{Л}}} \cdot \cos \varphi_2; \quad (3.11)$$

$$I_{La} = \frac{32,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} \cdot 0,9 = 44,4 \text{ A}.$$

Тепер знайдемо значення ємності для конденсаторних батарей, які будуть з'єднуватися в зірку [13]:

$$C_Y = \frac{\sqrt{3} \cdot 44,4}{314,15 \cdot 380} \cdot (0,88 - 0,484) = 255,1 \text{ мкФ}.$$

За таких самих умов знаходимо ємність для з'єднання в трикутник:

$$C_{\Delta} = \frac{44,4}{\sqrt{3} \cdot 314,15 \cdot 380} \cdot (0,88 - 0,484) = 85 \text{ мкФ}.$$

Для вибору конденсаторної батареї є необхідність розрахунку загальної реактивної потужності для цих батарей [13]:

$$Q_C = P \cdot (tg\varphi_1 - tg\varphi_2); \quad (3.12)$$

$$Q_C = P \cdot k. \quad (3.13)$$

де k – представляє з себе коефіцієнт реактивної потужності для компенсаційних батарей та установок.

$$Q_C = 102,8 \cdot 0,38 = 39,1 \text{ кВАр}.$$

За результатами реактивної потужності в 39,1 кВАр можна дійти висновків, щодо вибору конденсаторної батареї. За всіма нормами значення батареї повинне перевищувати розрахункові параметри тому в нашому випадку підійде конденсаторна батарея типу УКРМ-0,4-40 УЗ, у якої номінальна потужність становить 40 кВАр.

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 [17].

При роботі з електроустановками часто виникають різні види небезпек, від ударів струмом до різних механічних ушкоджень. Всі працівники мають проходити інструктаж з охорони праці та електробезпеки. Основними причинами електротравматизму при роботі працівника є [18]: випадкове доторкання до неізованих струмопровідних частин електроустаткування; застосування 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 пошкоджень чи пробією ізоляції; недотримання правил будови, улаштування, безпечної 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 та інше. Забороняється працювати при недостатньому освітленні, курити в приміщеннях та залишати без нагляду електронагрівальні прилади. Під час роботи [17] потрібно здійснювати постійний контроль за справністю обладнання, інструментів, вмикаючих і вимикаючих пристроїв. Розглянемо роботу електромонтерів, які працюють обслуговуючи елементи підстанції 10/0,38 кВ.

На рисунку 4.1 [18] 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.

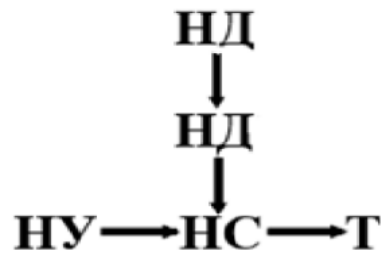


Рисунок 4.1 – Аналіз процесу формування небезпечної ситуації при заміні LED ламп зовнішнього освітлення підстанції: НУ – небезпечна умова (не вимкнене живлення від мережі); НД1 – небезпечна дія (нехтування правилами ТБ); НД2 – небезпечна дія (користування невідповідними інструментами); НС – небезпечна ситуація (обрив тросу); Т – травма.

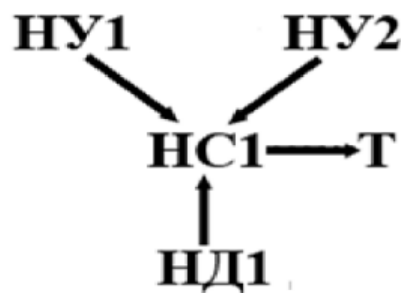


Рисунок 4.2 – Аналіз процесу формування небезпечної ситуації при обслуговуванні релейного захисту: НУ1 – небезпечна умова (не зроблено видимий розрив контакту); НУ2 – небезпечна умова (релейний захист не спрацював); НС1 – небезпечна ситуація (пошкодження руки монтажника); НД1 – небезпечна дія (напруга на виводах релейної апаратури); Т – травма.

На рисунку 4.2 представлено [18] схему аналізу процесу формування небезпечної ситуації при встановленні обслуговуванні релейного захисту. Бачимо, що при виникненні усіх описаних чинників виникне травма. У даному випадку основним заходом запобігання небезпечної ситуації є проведення додаткових інструктажів із техніки безпеки та використання спец об'ягу

4.2 Пожежна безпека

Основними причинами пожеж на підприємствах є такі: необережне поводження з вогнем у побуті; порушення пожежних норм і правил у

технологічних процесах виробництва [17]; неправильне облаштування систем опалення, вентиляції, електроустаткування; порушення норм і правил зберігання пожежонебезпечних несумісних матеріалів; порушення правил користування електрообладнанням; невиконання протипожежних заходів щодо обладнання пожежного водозабезпечення, улаштування пожежної сигналізації, забезпечення первинними засобами пожежогасіння; використання відкритого вогню факелів, паяльних ламп, па-ління у заборонених місцях; погане знання персоналом основ пожежної безпеки; порушення вимог протипожежного інструктажу під час ви-конання робіт.

Таким чином, абсолютна більшість пожеж виникає з вини людей.

Причиною пожежі також може стати [17] коротке замикання в електричних мережах, струмові перевантаження проводів та електричних машин, великий перехідний опір, розряди статичної та атмосферної електрики, електричні іскри.

До джерел відкритого вогню належить і полум'я сірників, необережне поводження з якими часто призводить до пожежі.

Пожежна безпека [17] — це стан об'єкта, за якого вилучається можливість пожежі. У разі виникнення пожежі вживаються необхідні заходи щодо усунення негативного впливу небезпечних факторів пожежі на людей, споруди і матеріальні цінності.

Протипожежний режим [17] — це комплекс встановлених норм і правил поведінки людей, виконання робіт і експлуатації об'єкта, спрямованих на забезпечення пожежної безпеки.

Пожежна безпека забезпечується організаційними, технічними заходами.

До організаційних заходів належать [18]: розробка правил, інструкцій, інструктажів з протипожежної безпеки; організація навчання та інструктування працівників; здійснення контролю за дотриманням протипожежного режиму; організація добровільних пожежних дружин; щоденна перевірка протипожежного стану приміщень після закінчення роботи; організація перевірки належного стану пожежної техніки та інвентарю.

До технічних заходів належать [18]: дотримання пожежних норм, вимог та правил при влаштуванні будівель, споруд, складів; підтримання у справному стані систем опалення, вентиляції, обладнання; улаштування автоматичної пожежної сигналізації, систем автоматичного гасіння пожеж та пожежного водопостачання; заборона використання обладнання, пристроїв, приміщень та інструментів, що не відповідають вимогам протипожежної безпеки; правильна організація праці на робочих місцях з використанням пожежонебезпечних інструментів, приладів, технологічних установок.

4.3 Охорона довкілля

Охорона навколишнього середовища (НС) [19] – це комплекс науково-обґрунтованих міжнародних, державних, регіональних, адміністративно-господарських, політичних, економічних, громадських заходів, спрямованих на підтримання фізичних, хімічних і екологічних параметрів природного середовища в межах, які забезпечують нормальні умови життєдіяльності людини та можливість збереження і зміцнення її здоров'я.

Екологічні та природоохоронні відносини в суспільстві регулюються Конституцією України, в 13-ій статті якої зазначено: «Земля, її надра, атмосферне повітря, водні та інші природні ресурси є всенародним надбанням, а власником їх є Держава». Основним нормативно-правовим актом України в сфері охорони НС є закон України «Про охорону навколишнього середовища», уведений в дію Постановою Верховної Ради № 1268-12 від 26.06.1991 року [19]

У системі раціонального використання природних ресурсів та охорони довкілля важливе місце займають екологічна стандартизація, екологічне та гігієнічне нормування, екологічна експертиза. Екологічні стандарти [19] – це нормативно-технічна документація, в якій визначені загальні екологічні вимоги до конкретних видів природокористування. Екологічне нормування – це наукова, правова, адміністративна діяльність, спрямована на обґрунтування і затвердження гранично допустимих екологічних нормативів, при дотриманні

яких не відбудеться деградація екосистеми, гарантується збереження біологічного різноманіття довкілля та безпека життєдіяльності населення.

Метою екологічної експертизи [19] є запобігання негативному впливові антропогенної діяльності на стан НС та здоров'я людей, оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності й екологічної ситуації на окремих територіях та об'єктах. До об'єктів екологічної експертизи належать проекти законодавчих, нормативно-правових актів; документація щодо впровадження нових технологій, матеріалів, продукції, використання яких може призвести до порушення екологічних нормативів та створення загрози здоров'ю людей; діючі об'єкти та комплекси, що негативно впливають на стан НС; несприятливі екологічні ситуації в окремих регіонах країни.

Законодавчі заходи регулюють [19] екологічну політику уряду, спрямовану на запобігання забруднення повітряного басейну, води та ґрунту шкідливими речовинами. Планування, забудова та розвиток населених місць повинні здійснюватись з використанням вимог щодо екологічної безпеки з обов'язковим проведенням еколого-гігієнічної експертизи.

Технологічні заходи мають на меті [19] використання екологічно чистого виробництва: замкнутих технологічних циклів та безперервного виробництва (виключається викид газів в атмосферу); принципову зміну технології (безвідходне або маловідходне виробництво; комплексна механізація, автоматизація та герметизація виробничих процесів; заміна шкідливих речовин виробництва на нешкідливі або менш шкідливі; заміна нагрівання у полум'ї на електричне, твердого та рідинного палива – на газоподібне; використання біопалива та безпаливної енергетики – сонячної, вітрової тощо). Технологічні заходи призначені також регулювати процеси утворення та знешкодження відходів, що можуть забруднювати ґрунт. До них належать: зменшення утворення відходів, токсичних та потенційно небезпечних для довкілля; скорочення кількості відходів, що підлягають утилізації; впровадження безпечних для НС технологій вторинного використання та утилізації відходів.

5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

В цьому розділі будуть проведені розрахунки економічних вартостей втрат електроенергії при транспортуванні її до споживачів, а також розрахунок вартості цього передавання.

5.1 Розрахунок втрат електроенергії для розрахованої мережі електропостачання

Для початку ми будемо здійснювати розрахунок втрат як і для самої мережі так і втрат, які відбуваються у самому трансформаторі підстанції 10/0,4 кВ. Для знаходження цих втрат можна скористатися даною формулою [21]:

$$\Delta W = \sum_{i=1}^n 3I_{\max i}^2 r_i \tau. \quad (5.1)$$

де τ – час максимального періоду навантаження; $I_{\max i}$ – значення максимальних струмів певної ділянки мережі; r_i – активний опір в проводах для вибраної ділянки мережі.

Втрати електроенергії завжди розраховуються для всіх існуючих ділянок мережі, по яким передається електроенергія до споживача. Для трансформаторів будь-яких розмірностей притаманні як постійні так і змінні втрати навантаження, за цим для їх розрахунку використовують наступну формулу [20]:

$$\Delta W_C = n \cdot \Delta P_{\text{нх}} \cdot 8760. \quad (5.2)$$

звідки $\Delta P_{\text{нх}}$ – являються втрати напруги при роботі трансформатора в режимі неробочого ходу; n – кількість використаних трансформаторів при побудові підстанції, в нашому випадку 10/0,4 кВ.

Щоб знайти змінні втрати в обмотках використовується формула [21]:

$$\Delta W_0 = \Delta P_{\text{кз}} \left(\frac{S_{\max}}{S_{\text{Тном}}} \right)^2 \tau. \quad (5.3)$$

На початок розрахуємо максимальний струм для лінії на напругу 10 кВ:

$$I_{л10\max} = \frac{S_{\Sigma 6ч}}{\sqrt{3}U_{ном}}; \quad (5.4)$$

$$I_{л10\max} = \frac{102,8}{\sqrt{3} \cdot 10} = 5,93 \text{ A}.$$

Вернемося до розрахунку втрат в мережі напругою 10 кВ з виразу (6.1) [21]:

$$\Delta W = 3 \cdot 5,93^2 \cdot 5,6 \cdot 2100 = 1240 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Після цього переходимо до розрахунків втрат електроенергії на нижчій стороні мережі 0,4 кВ, але не забуваємо, що струм беремо з вечірніх значень розділу 2 і розраховуємо тим же самим способом [21]:

$$\Delta W = \sum_{i=1}^{12} 3I_{\max i}^2 r_i \tau = 8599,1 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Тепер можна приступити до розрахунку згаданих раніше постійних та змінних втрат у самому трансформаторі [20]:

$$\Delta W_C = 0,36 \cdot 8760 = 3153,6 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$\Delta W_0 = 1,97 \cdot \left(\frac{32,5}{100} \right)^2 2100 = 436,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Для знаходження постійних втрат енергії у розглянутій мережі використовують такий вираз [20]:

$$\Delta W_{\text{пост}} = \Delta W_C = 3153,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}. \quad (5.5)$$

Тепер можна закрити і питання розрахунку змінних втрат енергії [21]:

$$\Delta W_{зм} = \Delta W + \Delta W_{0,4} + \Delta W_0; \quad (5.6)$$

$$\Delta W_{зм} = 1240 + 8599,1 + 436,9 = 10276 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Таблиця 5.1 – Результати розрахованих втрат у мережі

Параметр	Значення	Параметр	Значення
$I_{л10\max}, \text{A}$	5,93	$\Delta W_0, \text{кВт} \cdot \text{год}$	436,9
$\Delta W_{10}, \text{кВт} \cdot \text{год}$	1240	$\Delta W_{\text{пост}}, \text{кВт} \cdot \text{год}$	3153,6
$\Delta W_{0,38}, \text{кВт} \cdot \text{год}$	8599,1	$\Delta W_{зм}, \text{кВт} \cdot \text{год}$	10276
$\Delta W_C, \text{кВт} \cdot \text{год}$	3153,6	$\Delta W_{\text{заг}}, \text{кВт} \cdot \text{год}$	13420,6

Знайдемо кінцеві втрати електроенергії у всій розрахованій електричній мережі [21]:

$$\Delta W_{\text{заг}} = \Delta W_{\text{пост}} + \Delta W_{\text{зм}} = 10276 + 3153,6 = 13420,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}. \quad (5.7)$$

За всіма втратами виведемо таблицю 5.1 з всіма втратами в мережі

5.2 Обчислення вартості передачі електроенергії розрахованою мережею електропостачання

Для початку проведемо розрахунок капіталовкладень, щодо будівництва і вводу розрахованої нами мережі електропостачання. Вартості елементів мережі наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Затрати на будівництво мережі електропостачання

Елементи мережі	Капітальні питомі витрати, грн.	Кількість	Капітальні витрати на зведення, грн
Підстанція 10/0,38кВ	25550	1 шт	25550
Лінія 10 кВ на 1 км	33250	5 км	166250
Лінія 10 кВ на 0,38 км з проводом 5хА-25	60200	0,8 км	48160
з проводом 5хА-50	62300	0,8 км	49840
Вартість мережі в цілому			289800

Розрахуємо затрати на амортизацію вираховується за формулою [20]:

$$C_a = C_{\text{анс}} + C_{\text{ал}} = a_{\text{нс}} K_{\text{нс}} + a_{\text{л}} K_{\text{л}} = 0,064 \cdot 25550 + 0,036 \cdot 270040 = 11356 \text{ грн}.$$

Розрахуємо затрати потрібних на обслуговування мережі [20]:

$$C_0 = a_0 (n_{\text{унс}} + n_{\text{ул10}} \cdot l_{10} + n_{\text{ул0,38}} \cdot l_{0,38}) = 56 \cdot (5,6 + 1,7 \cdot 5 + 2,3 \cdot 1,6) = 996 \text{ грн}.$$

Тепер розрахуємо загальні вартості [21]:

$$C_e = C_a + C_0 = 11356 + 996 = 12352 \text{ грн}.$$

Перейдемо до розрахунку вартості при втратах електроенергії [21]:

$$C_W = c (\Delta W_{\text{пост}} + \Delta W_{\text{зм}}) = 4,32 \cdot 13420,6 = 57976 \text{ грн}.$$

Після цього ми може зробити заключні розрахунки, щодо вартості затрат на розраховану нами мережу [20]:

$$C = C_W + C_e = 57976 + 12352 = 70329 \text{ грн.}$$

Підійшов час розрахунку вартості передавання електроенергії мережею:

$$c_{ел} = \frac{C}{P_{роз} \cdot T} = \frac{70329}{95,62 \cdot 2100} = 0,35 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год.}$$

Так що передача електроенергії розрахованої нами мережі буде становити всього 0,35 грн/кВт·год.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконаний проект системи для електропостачання села Викоти з введенням в роботу централізованої компенсації реактивної потужності. Для наглядності підсумуємо результати виконані для кожного розділу роботи.

1. Проведене коротке ознайомлення з селом Викоти і представлена його характеристика щодо системи постачання. Зроблене обґрунтування доцільності і актуальності теми кваліфікаційної роботи.

2 З проектувана нова мережа на заміну старої. Для цієї мережі були проведені розрахунки кожної ділянки за повною, активною та реактивною потужністю, а також здійснені розрахунки всіх навантажень. Після цього були проведені розрахунки для вибору трансформатора, а також і трансформаторної підстанції. Підібрані перерізи проводів для кожної ділянки магістралей. Розраховані аварійні режими та струми коротких замикань, за результатами яких було вибрано релейну апаратуру для захисту лінії.

3. Проведені ознайомчі заходи щодо підходів компенсації реактивної потужності. Зсилаючись на ці підходи було обрана компенсаційна конденсаторна батарея типу УКРМ-0,4-40 УЗ, яка забезпечує нормальні вимоги до компенсації реактивної потужності.

4. Приділена увага і розкриті питання щодо охорони праці та навколишнього середовища. В приклад цьому проведені аналізи умов за якими виникають небезпечні ситуації під час роботи з релейною апаратурою. Закрите питання щодо охорони навколишнього середовища.

5. Проведено розрахунки в двох напрямках: перший у розрахунку всіх втрат в електромережі, а другий в розрахунку вартості електропередачі, яка в нашому випадку буде становити 0,35 грн/кВт·год.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. <https://uk.wikipedia.org/wiki>
2. <https://www.google.com/maps/place>
3. Маліновський А. А., Хохулін Б. К. Основи електропостачання. Львів: Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2005. 324 с.
4. Казанський С. В., Матеєвко Ю. П. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підруч. Київ: Нац. ун-т «Київська політехніка», 2017. 456 с.
5. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств: підруч. Вінниця: Нова книга, 2011. 656 с.
6. Бахор З. М., Журахівський А. В. Проектування підстанцій електричних мереж. Львів: Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2017. 308 с.
7. Чумакевич В. О. Методичні вказівки та завдання до курсового проекту з дисципліни «Основи електропостачання» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Львів ЛНАУ, 2016. 59 с.
8. Кирик В. В. Електричні мережі та системи. Київ НТУ «КПІ», 2014. 130 с.
9. Правила улаштування електроустановок. Харків: «Форт», 2017. 716 с.
10. Лук'яненко Ю. В., Остапчук Ж. І., Кулик В. В. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні. Вінниця: ВДТУ, 2002. 116 с.
11. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи: підруч. Львів: Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2009. 488 с.
12. Василега П. О. Електропостачання. Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. 415 с.
13. Голота А. Д. Автоматика в електроенергетичних системах. Київ: Вища школа, 2006. 367 с.
14. Кідиба В. П., Шелепетень Т. М. Захист ліній електропередавання. Львів: Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2004. 186 с.
15. Денисюк С. П., Радиш І. П., Кабацій В. М., Дерев'янка Д. Г. Основи електротехніки та електропостачання. Київ: Кондор, 2012. 216 с.

16. Малинівський С. М. Загальна електротехніка: навч. посіб. Львів: Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2001. 596 с.
17. Тимочко В. О., Городецький І. М., Березовецький А. П. Безпека життєдіяльності та охорона праці: практикум. Львів : СПОЛОМ, 2022. 376 с.
18. Пістун І. П., Березовецький А. П., Тимочко В. О., Городецький І. М. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія). Львів: Тріада плюс, 2017. 620 с.
19. Лук'янова Л. Основи екології: навч. посіб. Київ: Вища школа, 2000. 327 с.
20. 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.
21. Бандурка О. М., Ковальов Є. В., Садиков М. А., Маковоз О. С., Економіка підприємства. Харків: ХНУВС. 2017. 192 с.