

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва транспорту та енергетики
Кафедра “Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент”

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ
“ ____ ” _____2025р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої
освіти
на тему
“Розроблення електротехнічної системи
електроспоживання текстильного комбінату”

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу, групи ЕЕ-22-мб
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____Кудінов О.В.

« ____ » _____2025р.

Керівник роботи

к.т.н., доцент

_____Андрій КОТИШ

« ____ » _____2025р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Будівництва транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ Пleshков П.Г.

«_____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

_____ Кудінова Олександра Валентиновича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Розроблення електротехнічної системи

електроспоживання текстильного комбінату

_____ Development of an electrical system for electricity consumption of a textile mill

2. Керівник роботи (проекту)

_____ Котвиш Андрій Іванович, к.т.н., доцент

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)

Вступ; 1.Електричні навантаження; 2.Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки; 3.Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання; 4.Компенсація реактивної потужності; 5.Трансформаторні підстанції; 6.Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання; 7.Спеціальний розділ; Висновки; Перелік посилань.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

| Розділ | Консультант | Підпис, дата | |
|---------------------------|----------------------------------|----------------|------------------|
| | | Завдання видав | Завдання прийняв |
| <i>Спеціальний розділ</i> | <i>к.т.н., доц. Н. Гарасьова</i> | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|-------------------------------|----------|
| 1 | <i>Вступ</i> | <i>08.05.25</i> | |
| 2 | <i>Електричні навантаження</i> | <i>12.05.25.</i> | |
| 3 | <i>Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки</i> | <i>16.05.25.</i> | |
| 4 | <i>Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства</i> | <i>19.05.25.</i> | |
| 5 | <i>Компенсація реактивної потужності</i> | <i>21.05.25.</i> | |
| 6 | <i>Трансформаторні підстанції</i> | <i>24.05.25</i> | |
| 7 | <i>Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання</i> | <i>28.05.25.</i> | |
| 8 | <i>Спеціальний розділ</i> | <i>01.06.25.</i> | |

Дата видачі завдання

«___» _____ 2025 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2025 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: с.; 18 рис.; 21 табл.; 13 джерел.

Кудінов О.В. Розроблення електротехнічної системи електроспоживання текстильного комбінату. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький, 2025 р.

Метою представленої кваліфікаційної роботи є розроблення електротехнічної системи електроспоживання промислового підприємства, а саме текстильного комбінату. При виконанні даної роботи було здійснено вибір основного електрообладнання, вирішення питань з компенсації реактивної потужності, запровадження різноманітних схемних рішень по системі тощо.

У спеціальному розділі роботи в результаті проведених досліджень визначені параметри одиничного сигналу, що дозволяють організувати надійний телемеханічний канал по повітряних розподільних мережах 10 кВ.

Ключові слова: електричне навантаження електротехнічна система електроспоживання, потужність, електрична енергія, система телемеханіки, телемеханічний сигнал.

SUMMARY

Kudinov O.V. Development of an electrical system for electricity consumption of a textile mill. 141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics" EPP, "Electric power, electrical engineering and electromechanics". Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi, 2025.

The purpose of the presented qualification work is to develop an electrotechnical system of electricity consumption of an industrial enterprise, namely a textile mill. When performing this work, the selection of the main electrical equipment was carried out, issues of reactive power compensation were resolved, various circuit solutions were introduced into the system, etc.

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

In a special section of the work, as a result of the research, the parameters of a single signal were determined, which allow organizing a reliable telemechanical channel over 10 kV overhead distribution networks.

Keywords: electrical load, electrotechnical system of electricity consumption, power, electric energy, telemechanics system, telemechanical signal.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ЗМІСТ

Стор.

Вступ.....

1. Електричні навантаження.....

2. Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної роподільної установки (головної знижувальної підстанції).....

3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства.....

4. Компенсація реактивної потужності.....

5. Трансформаторні підстанції.....

6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання.....

7. Спеціальний розділ роботи.....

Висновки.....

Перелік посилань.....

| | | | | | | | | | |
|----------|---------|----------|---------|-----|--|------|-------|---------|--|
| | | | | | Випускна кваліфікаційна робота | | | | |
| Зм. | Арк. | Недокум. | Підпис. | Дат | | | | | |
| Розроб. | Кудінов | | | | <i>Розроблення електротехнічної системи електроспоживання текстильного комбінату</i> | Літ. | Аркуш | Аркушів | |
| Перевір. | Котиш | | | | | | | | |
| Н.контр. | | | | | ЦНТУ | | | | |
| Затвер. | Плешков | | | | ар. ЕЕ-22-мб | | | | |

Вступ

Електропостачання текстильно-прядильних комбінатів має низку особливостей, зумовлених специфікою технологічних процесів, які потребують стабільного та якісного електроживлення. Основні характеристики електропостачання таких підприємств включають наступні фактори.

Висока електроємність виробництва. Текстильно-прядильні підприємства використовують велику кількість електроприводів для верстатів, мотальних і ткацьких машин, що вимагає значних потужностей.

Рівномірне навантаження протягом доби. На відміну від багатьох інших галузей промисловості, де спостерігаються суттєві пікові коливання споживання електроенергії, у текстильному виробництві навантаження є відносно рівномірним завдяки безперервності процесів.

Високі вимоги до стабільності напруги. Для забезпечення якісної роботи електроприводів прядильного та ткацького обладнання необхідно підтримувати стабільні параметри напруги та частоти струму.

Наявність великої кількості асинхронних електродвигунів. В більшості верстатів і машин використовуються асинхронні електродвигуни, що може створювати значні реактивні навантаження, які потребують компенсації для підвищення енергоефективності.

Підвищена чутливість до перерв у електропостачанні. Технологічні процеси, особливо у прядильному виробництві, можуть бути критично залежними від безперервного живлення, оскільки зупинка обладнання призводить до значних виробничих втрат і браку.

Необхідність систем резервного живлення. Для забезпечення безперебійної роботи критичних ділянок підприємства використовують аварійні джерела живлення, такі як дизель-генератори або акумуляторні батареї.

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

Компенсація реактивної потужності. Через велику кількість електродвигунів виникає потреба в установках компенсації реактивної потужності (конденсаторні батареї), що допомагає зменшити навантаження на електромережу.

Автоматизація та контроль енергоспоживання. Сучасні текстильні комбінати впроваджують системи моніторингу та управління енергоспоживанням для оптимізації витрат і підвищення енергоефективності.

Загалом електропостачання текстильно-прядильних комбінатів має бути надійним, стабільним і ефективним, оскільки безперервність і якість живлення безпосередньо впливають на продуктивність і якість кінцевого продукту.

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | |

1. Електричні навантаження

Визначення електричних навантажень є критично важливим етапом у проектуванні, експлуатації та модернізації електричних систем. Правильність визначення дозволяє правильно розрахувати параметри електрообладнання (трансформаторів, кабелів, автоматичних вимикачів тощо). Запобігає перевантаженням і можливим аваріям.

Визначення навантажень допомагає уникнути перебоїв у роботі електромереж. Покращує прогнозування споживання електроенергії. Дозволяє визначити необхідну потужність генераторів та акумуляторних систем для аварійного живлення, прогнозувати майбутні потреби в електроенергії та планувати модернізацію мережі.

Таким чином, правильне визначення електричних навантажень забезпечує безпечну, економічну та надійну роботу електричних мереж та обладнання. Здійснюємо згідно методики, що надається в [1, 2].

1.1. Електричні силові навантаження в мережі підприємства до 1000В

Активне розрахункове навантаження для групи електроприймачів чи певного вузла навантаження визначається за виразом:

$$P_p = P_{cm} \cdot K_M \quad (1.1)$$

P_{cm} - середнє активне навантаження за найбільш завантажену зміну;

K_M - коефіцієнт максимуму навантаження (є довідниковою величиною).

Груповий коефіцієнт використання:

$$K_u = \frac{\sum_1^n P_{cm}}{\sum_1^n P_n} \quad (1.2)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Ефективне число (кількість) електроприймачів у групі (вузлі) n_e визначається:

$$n_e = \frac{2 \sum P_n}{P_{n.\max}} \quad (1.3)$$

Для групи приймачів чи вузла навантаження:

$$Q_p = Q_{см} \quad (1.4)$$

- при $n_e > 10$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{см} \quad (1.5)$$

- при $n_e \leq 10$;

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (1.6)$$

Повна розрахункова потужність:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (1.7)$$

Приклад розрахунку (ткацьке відділення).

Використовуємо початкові дані.

$$m = \frac{P_{n.\max}}{P_{n.\min}} = \frac{15}{2,5} = 6$$

$$P_{см} = P_{сум} K_u = 1150 \cdot 0,6 = 690 \text{ кВт}$$

$$Q_{см} = P_{см} \operatorname{tg} \varphi = 690 \cdot 0,86 = 590 \text{ кВар}$$

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum P_n}{P_{n.\max}} = \frac{2 \cdot 1150}{15} = 153$$

Користуючись літературою[1, 2] знаходимо коефіцієнт K_m . Для даних умов він становить $K_m=1,06$.

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

1.2. Освітлювальні навантаження

Встановлена потужність освітлювальних приймачів, кВт:

$$P_y = p_0 F \cdot 10^{-3} \quad (1.8)$$

Тобто результат розрахунку залежить від питомої потужності освітлювального навантаження (p_0) та площі приміщень (цехів, відділень і т.д.) – F .

Розрахункове ж навантаження для освітлювальних електроприймачів:

$$P_{p.осв} = K_n P_y \quad (1.9)$$

Тут результат, як ми бачимо залежить ще від K_n - коефіцієнт попиту.

Q_p може залежати від типу світильника, які обираються до встановлення.

Приклад розрахунку для ткацького відділення:

$$F = 2010 \text{ м}^2$$

$$P_0 = 20 \text{ Вт / м}^2$$

$$P_y = F \cdot P_0 \cdot 10^{-3} = 2010 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 40,2 \text{ кВт}$$

$$P_p = K_n K_1 P_y = 0,9 \cdot 1,0 \cdot 40,2 = 36,18 \text{ кВт}$$

Розрахунок для інших цехів та підрозділів комбінату виконується аналогічно показаному, а результати розрахунків зведені до таблиці 1.2.

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

1.3. Електричні силові навантаження в мережі підприємства вище 1000В

Порядок розрахунку навантажень, який рекомендується застосовувати в мережах напругою вище 1000 В виконується у відповідності з настановами [3, 4, 5]. При цьому обов'язково враховуються втрати в трансформаторах:

$$\Delta P = n(\Delta P_x + \Delta P_k K_3^2) \quad (1.10)$$

$$\Delta Q = n\left(\frac{I_x}{100} S_H + \frac{U_k}{100} S_H K_3^2\right) \quad (1.11)$$

де n – число трансформаторів у системі електропостачання;

$\Delta P_x, \Delta P_k$ – втрати відповідно х.х і к.з., %;

K_3 – коефіцієнт завантаження трансформатора;

Кінцеві результати розрахунків силових електричних навантажень в мережах вище 1000 В системи наведено у табл. 1.3.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Продовження таблиці

| Назва групи споживачів | К-ть ЕС | P _{одн} , кВт | | P _{сум} кВт | m | K _н | cosφ | tgφ | Середнє | | n _{эф} | K _м | Розрахункове навантаження | | | |
|--|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----|----------------|------|------|------------------------|-------------------------|-----------------|----------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|--|
| | | P _{мін} кВт | P _{мак} кВт | | | | | | P _{ем} кВт | Q _{ем} кВар | | | P _p , кВт | Q _p , кВар | S _p , кВА | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Гараж та майстерня | | | | | | | | | | | | | | | | |
| силове: | 23 | 0,5 | 13 | 150 | 26 | 0,3 | 0,76 | 0,86 | 45 | 38,48 | 23 | 1,38 | 62,1 | 38,48 | 73,06 | |
| освітлювальне: | | | | | | | | | 10,9 | | | | 9,8 | 4,7 | | |
| Всього: | | | | | | | | | 55,9 | 38,48 | | | 71,9 | 43,18 | 83,87 | |
| Їдальня | | | | | | | | | | | | | | | | |
| силове: | 32 | 0,2 | 8 | 152 | 40 | 0,4 | 0,9 | 0,48 | 60,8 | 29,45 | 32 | 1,24 | 75,67 | 29,45 | 81,2 | |
| освітлювальне: | | | | | | | | | 9 | | | | 8,1 | 4 | | |
| Всього: | | | | | | | | | 69,8 | 29,45 | | | 83,77 | 33,45 | 90,2 | |
| Склади | | | | | | | | | | | | | | | | |
| силове: | 15 | 1 | 18 | 150 | 18 | 0,15 | 0,75 | 0,88 | 22,5 | 19,84 | 15 | 1,79 | 40,36 | 19,84 | 44,97 | |
| освітлювальне: | | | | | | | | | 12 | | | | 10,8 | 8 | | |
| Всього: | | | | | | | | | 34,5 | 19,84 | | | 51,16 | 27,84 | 58,24 | |
| Територія комбінату | | | | | | | | | | | | | | | | |
| освітлювальне: | | | | | | | | | 15,6 | | | | 10,9 | 3,6 | | |
| Всього: | | | | | | | | | 15,6 | 0 | | | 10,9 | 3,6 | 11,48 | |
| Всього по ТП-3 (1*630 кВА): | | | | | | | | | | | | | | | | |
| силове: | 147 | 0,2 | 18 | 852 | 90 | 0,28 | 0,79 | 0,78 | 239,3 | 187,75 | 95 | 1,18 | 282,37 | 187,75 | 339,09 | |
| освітлювальне: | | | | | | | | | 72,3 | | | | 61,9 | 29,3 | | |
| БК 0,4 кВ | | | | | | | | | | 0 | | | | 0 | | |
| Всього на шинях 0,4 кВ ТП-3 (1*630 кВА): | | | | | | | | | 311,6 | 187,75 | | | 344,27 | 217,05 | 406,98 | |
| Втрати в трансформаторах: | | | | | | | | | | | | | 4,85 | 37,25 | | |
| Кількість трансформаторів: 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Номінальна потужність, кВА: 630 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,65 | | | | | | | | | | | | | | | | |

Продовження таблиці

| Назва групи споживачів | К-ть ЕС | P _{одн} , кВт | | P _{сум} кВт | m | K _н | cosφ | tgφ | Середнє | | n _{эф} | K _м | Розрахункове навантаження | | | |
|---|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----|----------------|------|------|------------------------|-------------------------|-----------------|----------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|--|
| | | P _{мін} кВт | P _{мак} кВт | | | | | | P _{ем} кВт | Q _{ем} кВар | | | P _p , кВт | Q _p , кВар | S _p , кВА | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Всього на шинях 10 кВ ТП-3 (1*630 кВА): | | | | | | | | | | | | | 349,12 | 254,3 | 431,92 | |
| Всього по об'єкту | | | | | | | | | | | | | | | | |
| силове: | 473 | 0,2 | 20 | 3542 | 100 | 0,53 | 0,99 | 0,13 | 1878,3 | 235,26 | 354 | 1 | 1878,3 | 235,26 | 1892,98 | |
| освітлювальне: | | | | | | | | | 72,3 | | | | 167,23 | 81,2 | | |
| Всього: | | | | | | | | | 2067,72 | 235,26 | | | 2045,53 | 316,46 | 2069,86 | |
| Потужність КП 0,4 кВ: | | | | | | | | | | -1200 | | | | -1200 | | |
| Втрати в трансформаторах: | | | | | | | | | | | | | 27,84 | 205,53 | | |
| Всього по об'єкту: | | | | | | | | | | | | | 2073,37 | 521,99 | 2138,07 | |
| Всього по об'єкту 10 кВ: | | | | | | | | | | | | | 2073,37 | 521,99 | 2138,07 | |
| КП 10 кВ: | | | | | | | | | | | | | | -450 | | |
| Всього 10 кВ з КП: | | | | | | | | | | | | | 2073,37 | 71,99 | 2074,62 | |
| tgφ = 0,035 | | | | | | | | | | | | | | | | |

Арк.

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

1.4. Графіки електричних навантажень

Побудова графіків електричних навантажень дає змогу візуалізувати та аналізувати зміни у споживанні електроенергії протягом певного періоду. Основні завдання такого аналізу включають:

Виявлення пікових навантажень – визначення періодів максимального споживання, що допомагає запобігти перевантаженням системи та підвищити її надійність.

Планування експлуатації та технічного обслуговування – розуміння графіків споживання дає змогу ефективно розподіляти роботу обладнання, знижуючи ризик його перевантаження.

Оцінку енергоефективності – аналізуючи динаміку споживання, можна виявити потенціал для зменшення енергетичних витрат.

Прогнозування майбутніх потреб – історичні дані про споживання електроенергії дозволяють прогнозувати майбутні навантаження та відповідно коригувати виробництво.

Оптимізацію витрат на електроенергію – аналіз графіків допомагає вибрати найекономічніші періоди для споживання, враховуючи діючі тарифи.

Таким чином, графіки електричних навантажень є важливим інструментом для ефективного управління енергосистемою та оптимізації її роботи.

У даній роботі здійснюємо побудову зимового та літнього графіку навантажень $P(t)$, $Q(t)$, $S(t)$ з урахуванням кількості вихідних і робочих днів, а також будуємо річний графік за тривалістю.

Витрати активної та реактивної електричної енергії в умовах проектування визначається за наступними виразами:

$$W_z = \sum P_i T_i \quad (1.12)$$

$$V_z = \sum Q_i T_i \quad (1.13)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Кількість годин використання максимуму навантаження та час найбільших втрат:

$$T_{\max} = \frac{\sqrt{W_{\Gamma}^2 + Q_{\Gamma}^2}}{P_p} \quad (1.14)$$

$$\tau = \left(0.124 + \frac{T_{\max}}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 \quad (1.15)$$

Зовнішній вигляд зазначених графіків електричних навантажень представлено на рис. 1.1 – 1.5.

Добовий графік нвантаження P, Q (літні робочі дні)

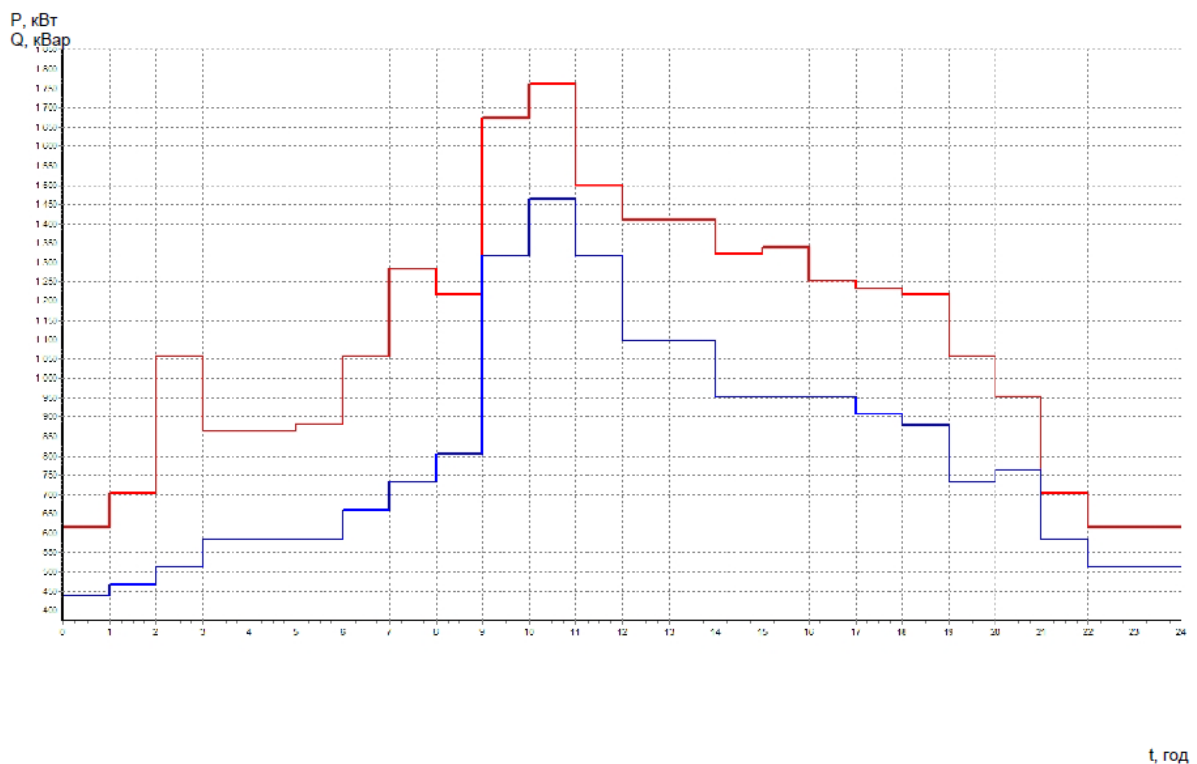


Рис. 1.1

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Добовий графік нвантаження P, Q (зимові вихідні дні)

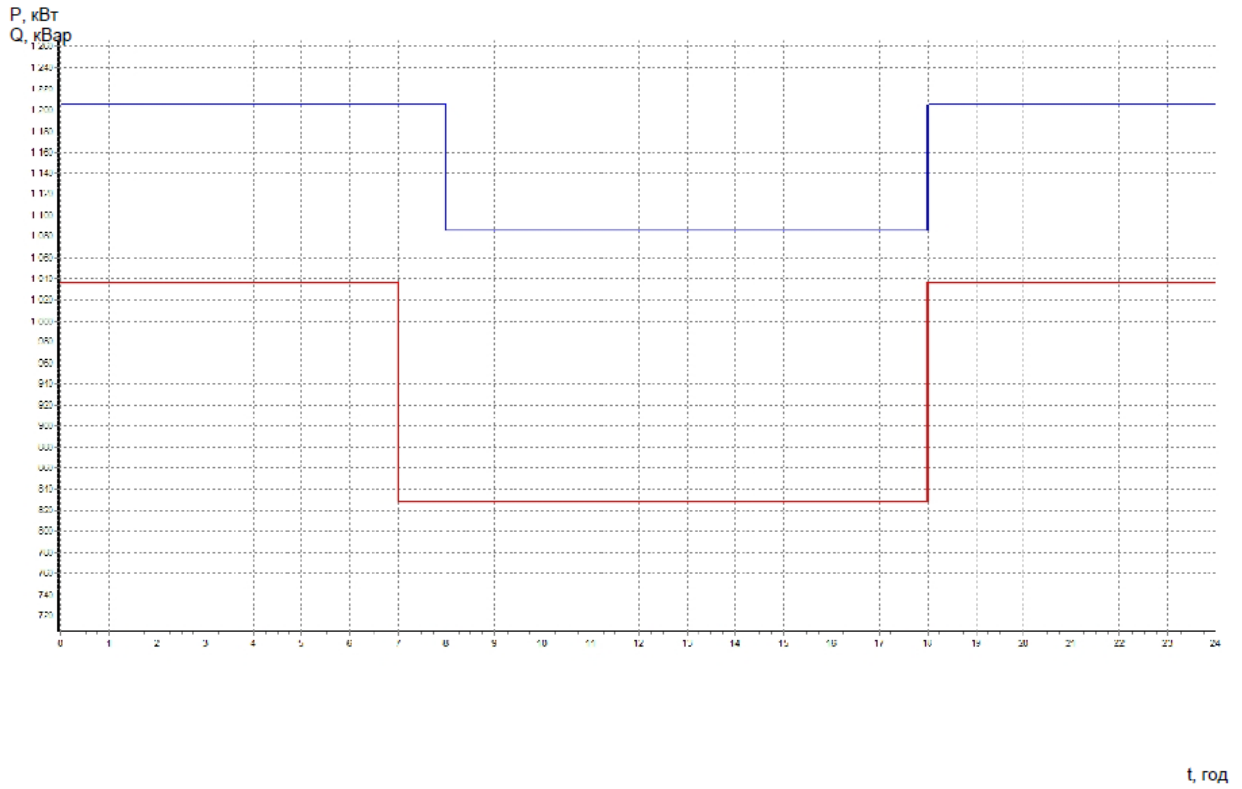


Рис. 1.4

Річний графік P,Q за тривалістю

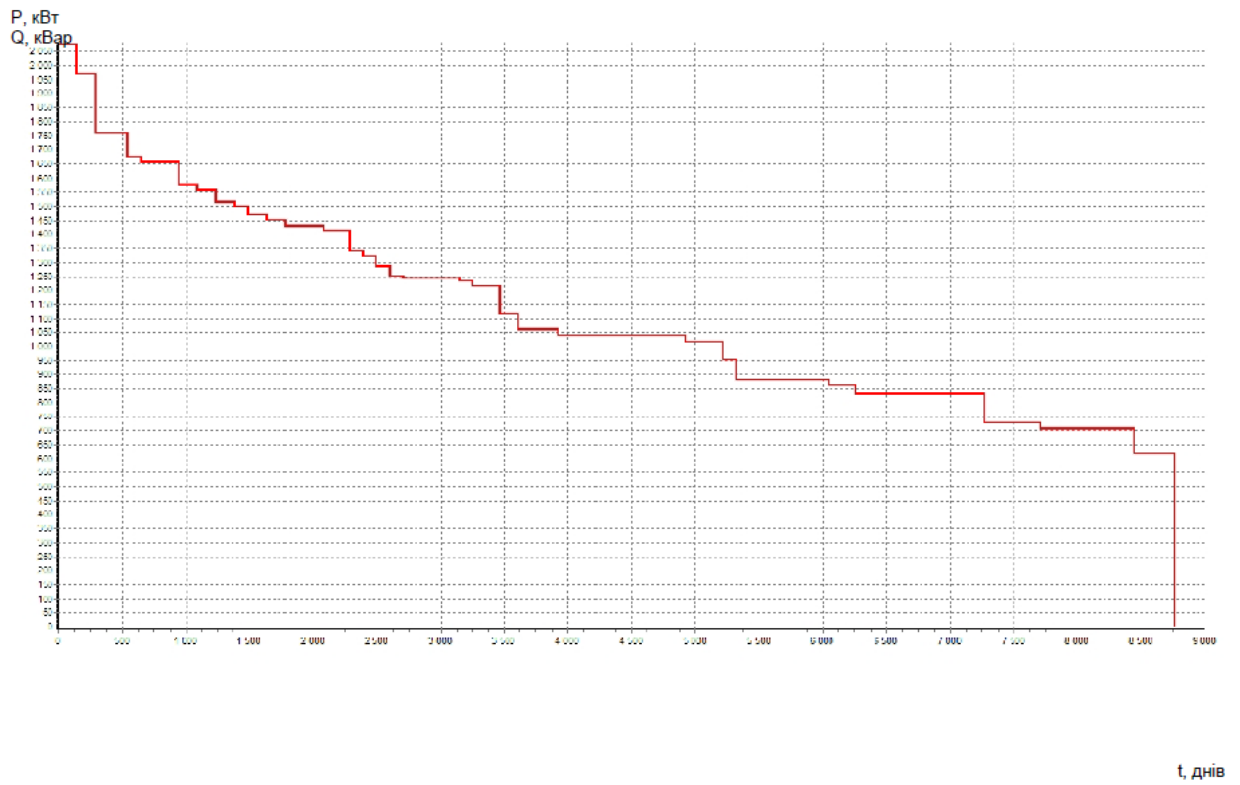


Рис. 1.5

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

Розрахункові величини

| | | | |
|------------|---|----------|-----------|
| S_p | = | 2694,92 | МВА |
| $W_{з.р.}$ | = | 4601247 | кВт год. |
| $V_{з.р.}$ | = | 3356892 | кВар год. |
| $W_{з.в.}$ | = | 1468155 | кВт год. |
| $V_{з.в.}$ | = | 1801800 | кВар год. |
| $W_{л.р.}$ | = | 2793840 | кВт год. |
| $V_{л.р.}$ | = | 2037420 | кВар год. |
| $W_{л.в.}$ | = | 921984 | кВт год. |
| $V_{л.в.}$ | = | 1131360 | кВар год. |
| W_p | = | 9785226 | кВт год. |
| V_p | = | 8327472 | кВар год. |
| T_{max} | = | 4767,862 | год. |
| τ | = | 3161,87 | год. |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2. Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки

Карта електричних навантажень - це графічне зображення розподілу електричних навантажень у певній місцевості або для певного промислового підприємства, яке зазвичай відображається на карті електромереж. Вона може включати інформацію про різні типи навантажень, їхню інтенсивність та часовий і просторовий розподіл.

Для того, щоб правильно побудувати картограму навантажень цехів (підрозділів) і підприємства в цілому необхідно визначити для кожного з них радіуси кіл R_i та площу πR_i^2 , котрих у обраному масштабі дорівнюватиме повному навантаженню P_i , кВА.

$$P_i = \pi R_i^2 m \quad (2.1)$$

$$R_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi m}} \quad (2.2)$$

m – масштаб відповідного кола

Координати центру навантажень, назвемо їх X та Y

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (2.3)$$

Освітлювальне навантаження – то певний кут α

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{\pi R_i^2} \quad (2.4)$$

Згідно цієї методики для кожного окремого цеху (підрозділу) розраховуємо координати та кут α (частку освітлювального навантаження).

Підсумкові результати зводимо в таблицю 2.1.

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства

При проведенні техніко-економічних обґрунтувань планів зовнішнього та внутрішнього електропостачання важливо враховувати різні аспекти, щоб забезпечити ефективне, надійне, економічно вигідне та стає електропостачання. Нижче наведено деякі з ключових аспектів, які слід враховувати

Споживання енергії, надійність енергопостачання, вибір джерела енергії, енергоефективність та оптимізація, екологічні аспекти, витрати та рентабельність інвестицій: важливо ретельно проаналізувати та врахувати ці аспекти при розробці оптимального плану зовнішнього та внутрішнього енергопостачання для вашого бізнесу.

У запропонованій випускній роботі можливим джерелом електрозабезпечення комбінату із розрахунковим навантаженням $S_p = 2075 \text{кВА}$ - може бути підстанція енергосистеми - з двома трансформаторами потужністю $1600 \text{кВ} \cdot \text{А}$ 35/10 кВ. А відстань між підстанцією й комбінатом $L = 2,5 \text{ км}$. Таким чином для порівняння схем зовнішнього електропостачання можна вибрати 2 варіанти: а) із напругою 35 кВ; б). із напругою 10 кВ.

Остаточне рішення у роботі вибирається шляхом порівняння загальних витрат для кожного із варіантів.

Приведені витрати по i – му варіанту

$$Z_i = E_n K_i + C_i + C_{\text{втр.}i} + Y_i \quad (3.1)$$

де E_n - коефіцієнт нормативний ефективності капітальних вкладень, 1/рік;

K_i - капітальні сумарні витрати, тис. грн.;

C_i - поточні витрати на розподіл та передачу електричної енергії, тис.грн./рік;

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

$C_{втр.i}$ - вартість втрат електричної енергії, тис.грн./рік;

$У_i$ - ймовірнісний збиток від перервів в електропостачанні підприємства, тис.грн/рік.

Поточні витрати C_i :

$$C_i = C_{ai} + C_{ei} \quad (3.2)$$

Вартість втрат електричної енергії:

$$C_{втр} = c_0 \Delta W \quad (3.3)$$

де C_0 – вартість втрат 1 кВт*год електроенергії , грн.

ΔW втрати електроенергії в повітряних і кабельних лініях, кВт*год;

$$\Delta W = \Delta P_{1км} l_{\Sigma} K_3^2 \tau \quad (3.4)$$

де $\Delta P_{1км}$ – втрати активної потужності в лініях електропередач на 1 км довжини при умові максимально допустимого навантаження, кВт;

l_{Σ} – сумарна довжина кіл лінії, км;

K_3 – коефіцієнт завантаження ліній електропередач;

τ – кількість годин максимальних річних втрат.

Втрати електричної енергії в трансформаторі:

$$\Delta W = \Delta P_x t + \Delta P_k K_3^2 \tau \quad (3.5)$$

де t кількість годин роботи трансформатора у поточному році.

Збитки визначаються:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (3.6)$$

де λ_i – так званий параметр потоку відмов одного із елементів дослідної системи електропостачання, 1/рік;

n - кількість елементів у колі схеми.

Середній час відновлення однієї лінії (ланцюга схеми):

$$T_{\epsilon} = \frac{\sum \lambda_i T_{ei}}{\lambda} \quad (5.7)$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

Загальна методика розрахунку надійності, що використана у випускній роботі викладена в [6].

Завдяки викладеним вище положенням здійснюємо техніко – економічне порівняння 2-х варіантів а) й б) схем зовнішнього електропостачання див. рис 3.1.

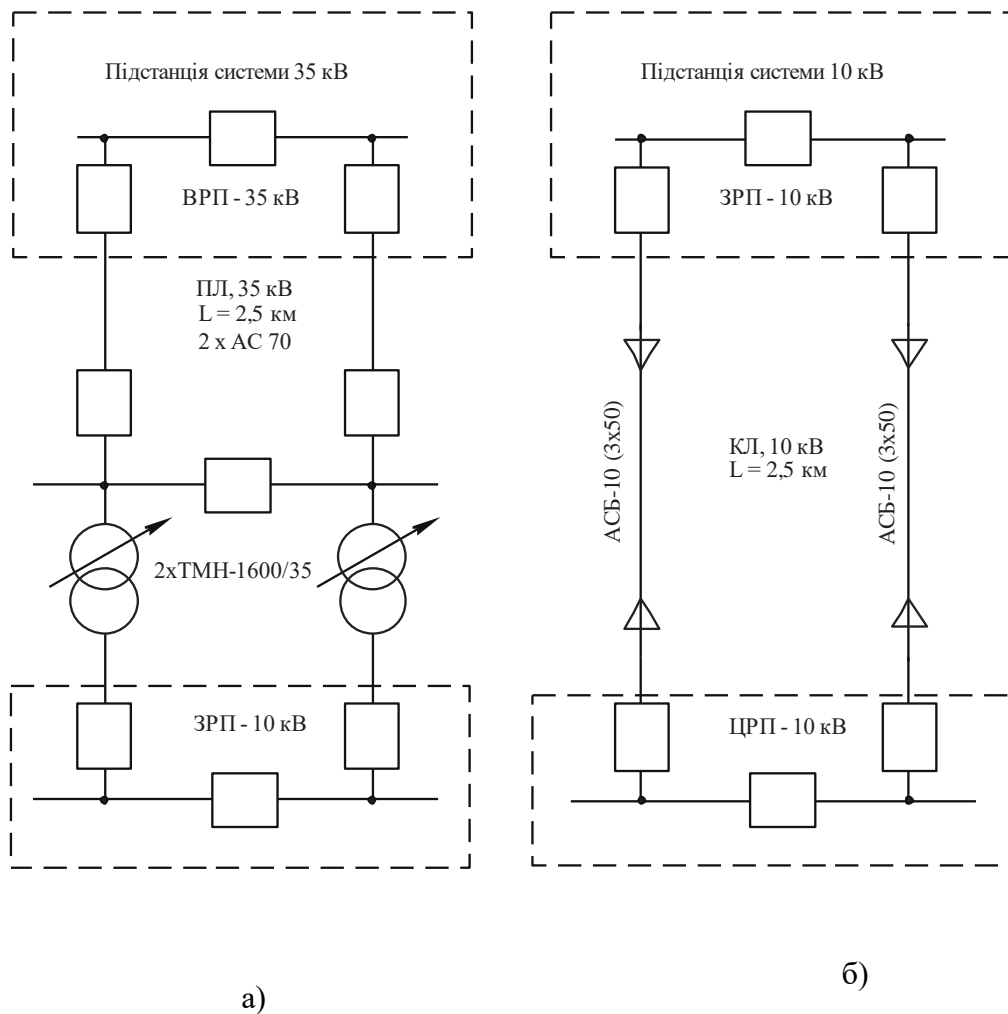


Рис 3.1. Схеми зовнішнього електропостачання комбінату

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Розрахунок капітальних вкладень

Таблиця 3.1. Розрахунок капітальних вкладень

| <i>№ вар.</i> | <i>Назва елемента схеми</i> | <i>Одиниця</i> | <i>Кількість</i> | <i>Вартість</i> | <i>Всього</i> |
|---------------|-----------------------------|----------------|------------------|-----------------|---------------|
| 1 | ЛЕП 35 кВ на з/б опорах | км | 2,5 | 264 | 660 |
| | ВРП 35 кВ | шт. | 1 | 120 | 120 |
| | 2 х ТМН-1600/35 | шт. | 2 | 800 | 1600 |
| <i>Всього</i> | | | | | 2380 |

Розрахунок поточних витрат

Таблиця 3.2. Розрахунок поточних витрат

| <i>№ вар</i> | <i>Назва елемента схеми</i> | <i>K_j, тис.грн.</i> | <i>P_{aj}, %</i> | <i>C_{aj}, тис.грн.</i> | <i>P_{эj}, %</i> | <i>C_{aj}, тис.грн.</i> | <i>C_j, тис.грн.</i> |
|---------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 1 | ЛЕП 35 кВ на з/б опорах | 660 | 5 | 33 | 5 | 33 | 66 |
| | ВРП 35 кВ | 120 | 15 | 18 | 5 | 6 | 24 |
| | 2 х ТМН-1600/35 | 1600 | 15 | 240 | 5 | 80 | 320 |
| <i>Всього</i> | | | | | | | 410 |

Розрахунок збитку від перерви електропостачання

$$Y = Y_0 P_{cp} T_a = 21 \cdot 1,13 \cdot 0,01885 = 0,45$$

II Варіант

Розрахунок капітальних вкладень

Таблиця 3.1. Розрахунок капітальних вкладень

| <i>№ вар.</i> | <i>Назва елемента схеми</i> | <i>Одиниця</i> | <i>Кількість</i> | <i>Вартість</i> | <i>Всього</i> |
|---------------|-----------------------------|----------------|------------------|-----------------|---------------|
| 2 | КЛ 10 кВ | км | 5 | 140 | 700 |
| | Траншея | км. | 2,5 | 15,3 | 38,25 |
| | Шафи КРП серії КУ-10 | шт. | 2 | 15,7 | 31,4 |
| <i>Всього</i> | | | | | 769,65 |

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | |

Розрахунок поточних витрат

Таблиця 3.2. Розрахунок поточних витрат

| № вар | Назва елемента схеми | К _ж , тис.грн. | Р _{аж} , % | С _{аж} , тис.грн. | Р _{эж} , % | С _{эж} , тис.грн. | С _ж , тис.грн. |
|---------------|----------------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------------|
| 2 | КЛ 10 кВ | 700 | 5 | 35 | 5 | 35 | 70 |
| | Траншея | 38,25 | 5 | 1,9125 | 5 | 1,9125 | 3,825 |
| | Шафи КРП серії КУ-10 | 31,4 | 15 | 4,71 | 5 | 1,57 | 6,28 |
| <i>Всього</i> | | | | | | | 80,105 |

Розрахунок збитку від перерви електропостачання

$$U = U_0 P_{cp} T_a = 21 \cdot 1,13 \cdot 0,01031 = 0,24$$

Загальні результати розрахунку заносимо у підсумкову таблицю 3.3.

Таблиця 3.3. Техніко – економічні показники варіантів розглянутих схем

| Показники | Варіанти (тис. грн) | |
|-------------------------------|---------------------|------|
| | I | II |
| Капітальні вкладення | 2380 | 770 |
| Поточні витрати | 410 | 80 |
| Вартість втрат електроенергії | 837 | 443 |
| Збиток | 0,45 | 0,24 |
| Приведені витрати | 1533 | 616 |

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | |

4. Компенсація реактивної потужності

Проведемо розрахунок балансу активної та реактивної потужності.

Сумарне низьковольтне електричне навантаження:

$$P_n = \sum P_{ТП} = 2081 \text{ кВт} \quad Q_n = \sum Q_{ТП} = 1765 \text{ кВАр}$$

Сумарні втрати в цехових ТП:

$$\Delta P_m = \sum \Delta P_{ТП} = 35,87 \text{ кВт} \quad \Delta Q_m = \sum \Delta Q_{ТП} = 248,8 \text{ кВАр}$$

Сумарне високовольтне навантаження:

$$P_\epsilon = \sum P_{ВН} = 0 \text{ кВт} \quad Q_\epsilon = \sum Q_{ВН} = 0 \text{ кВАр}$$

Сумарне споживання активної та реактивної потужностей:

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_\epsilon = 2081 + 35,87 + 0 = 2116,87 \text{ кВт}$$
$$Q_p = Q_n + \Delta Q_m + Q_\epsilon = 1765 + 248,8 + 0 = 2013,8 \text{ кВАр}$$

Реактивна потужність, яка споживається від системи:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 2116,87 \cdot 0,15 = 317,53 \text{ кВАр}$$

Потужність компенсуючих пристроїв:

$$Q_{КП} = Q_p - Q_e = 2013,8 - 317,53 = 1696,27 \text{ кВАр}$$

Мінімальна кількість трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{2081}{0,7 \cdot 630} = 4,72 \approx 5 \text{ шт.}$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

Надалі будуть розглядатися варіанти компенсації при кількості трансформаторів $N = N_0$, $N = N_0 + 1$, $N = N_0 + 2$.

Варіант 1. $N = N_0 = 5$ шт.

Реактивна потужність, яка може бути передана із мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - (P_n + \Delta P_m)^2} = \sqrt{(5 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 2116,87^2} = 617,16 \text{ кВАр}$$

Потужність КП, що встановлюються в мережі до 1000 В Q_{KH} , визначається із умови балансу реактивної потужності на шинах ТП:

$$Q_{KH} = (Q_n + \Delta Q_m) - Q_1 = 2013,8 - 617,16 = 1396,64 \text{ кВАр}$$

Потужність КП, що встановлюються в мережі 10 кВ, Q_{KB} , визначається із умови балансу реактивної потужності на шинах 10 кВ:

$$Q_{KB} = Q_{КП} - Q_{KH} = 1696,27 - 1396,64 = 299,63 \text{ кВАр}$$

Розрахунок варіантів $N = N_0 + 1$, $N = N_0 + 2$ виконується аналогічно.

Результати розрахунку зведено в таблицю 6.1.1.

Таблиця 6.1.1. Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв

| <i>№ варіанту</i> | <i>Кількість тр-торів</i> | <i>Q_1, кВАр</i> | <i>Q_{KH}, кВАр</i> | <i>Q_{KB}, кВАр</i> |
|-------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 5 | 617,16 | 1396,64 | 299,63 |
| 2 | 6 | 1587,51 | 426,29 | 1269,98 |
| 3 | 7 | 2246,87 | 0 | 1696,27 |

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | |

Варіант 1. N = 5 шт.

Втрати активної потужності в КП:

$$\Delta P_{KH} = P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 7614 = 34,26 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{KB} = P_{ПИТ}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,003 \cdot 1800 = 5,4 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності при передачі через трансформатори реактивної потужності:

$$\Delta P_{ТП} = \frac{P_{HH}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{2081^2 + 617,16^2}{10^2} \cdot 0,33 \cdot 0,001 = 15,55 \text{ кВт}$$

де

$$R_{екв} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} \cdot 10^3 = \frac{6,5 \cdot 10^2}{5 \cdot 630^2} \cdot 1000 = 0,33 \text{ Ом}$$

Вартість КП на стороні 0,4 кВ:

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH i} \cdot K_{KH i} =$$
$$= 1 \cdot 3,53 + 4 \cdot 3,9 + 2 \cdot 4,1 + 2 \cdot 6,71 + 1 \cdot 7,16 + 11 \cdot 10,23 = 160,44 \text{ тис.грн.}$$

Вартість КП на стороні 10 кВ:

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KB i} \cdot K_{KB i} = 2 \cdot 15,35 = 30,7 \text{ тис.грн.}$$

Вартість КТП:

$$K_{КТП} = N_{КТП(2)} \cdot K_{КТП(2)} + N_{КТП(1)} \cdot K_{КТП(1)} =$$
$$= 2 \cdot 1680 + 1 \cdot 937 = 4297 \text{ тис.грн.}$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

5. Трансформаторні підстанції

На промислових фабриках, комбінатах, підприємствах можуть використовуватися як одно-, так і двохтрансформаторні цехові підстанції 10/0,4 кВ. Вибір між ними залежить від потужності споживачів, надійності електропостачання, а також економічних міркувань.

Однотрансформаторні підстанції.

Склад: один силовий трансформатор, пристрої комутації та захисту.

Переваги:

Менша вартість обладнання та монтажу.

Простота обслуговування.

Менші втрати електроенергії у разі низького завантаження.

Недоліки:

Відсутність резервування: при виході з ладу трансформатора підприємство залишається без електроенергії.

Обмежена потужність.

Двохтрансформаторні підстанції.

Склад: два силові трансформатори, комутаційне та захисне обладнання.

Переваги:

Висока надійність: при виході з ладу одного трансформатора інший може забезпечувати живлення (повністю або частково).

Можливість рівномірного розподілу навантаження між трансформаторами, що підвищує їхню ефективність.

Використання одного трансформатора в години мінімального навантаження з метою енергозбереження.

Недоліки:

Вища вартість обладнання та монтажу.

Складніше обслуговування.

Вибрана потужність ТП ще обов'язково перевіряється щодо аварійного перевантаження

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

$$S_{доп} = 1,4 S_{ном} \geq S_{ав}$$

(5.1)

Таблиця 5.1. Вибір цехових (ТП) трансформаторних підстанцій

| №ТП | Sp, кВА | Sном, кВА | N | Марка трансф. | Кз | Кз.ав. | Категорій ність приймачів | Тип КТП | Місце розташуван ня |
|-----|------------|--------------|---|------------------|-------|--------|---------------------------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 931,2 | 630 | 2 | ТМ- 630/10 | 0,739 | 1,47 | I, II, III | прибудова на | Ткацький цех |
| 2 | 951,4 | 630 | 2 | ТМ- 630/10 | 0,75 | 1,5 | II, III | прибудова на | Прядильний цех |
| 3 | 431,9 | 630 | 1 | ТМ- 630/10 | 0,68 | 0,68 | II, III | прибудова на | Ремонтний цех |

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання

6.1. Розрахунок струмів коротких замикань

Для розрахунку струмів короткого замикання (КЗ) складається однолінійна схема. Однолінійна діаграма включає всі джерела живлення, що беруть участь у живленні місця пошкодження, та всі елементи системи електропостачання (трансформатори, лінії, реактори тощо), розташовані між ними та місцем пошкодження.

На основі проектних креслень створюється схема заміщення, в якій всі елементи замінюються резисторами та індуктивностями, приведеними до базових умов. Потім схема заміщення перетворюється на схему еквівалентності та спрощується.

За розрахунковими значеннями струмів КЗ вибирається високовольтна й низьковольтна апаратура, провода й кабелі, розраховуються уставки спрацьовування релейного захисту тощо.

Зазвичай визначають такі величини як періодична складова струму КЗ (6.1) та ударний струм (6.2).

$$I_{п0} = I'' = \frac{E_{\Sigma}''}{\sqrt{3} \cdot X_{PE3}}, \quad (6.1)$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_a}} \right), \quad (6.2)$$

$$T_a = \frac{X_{PE3}}{\omega I''_{PE3}}, \quad (6.3)$$

де

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

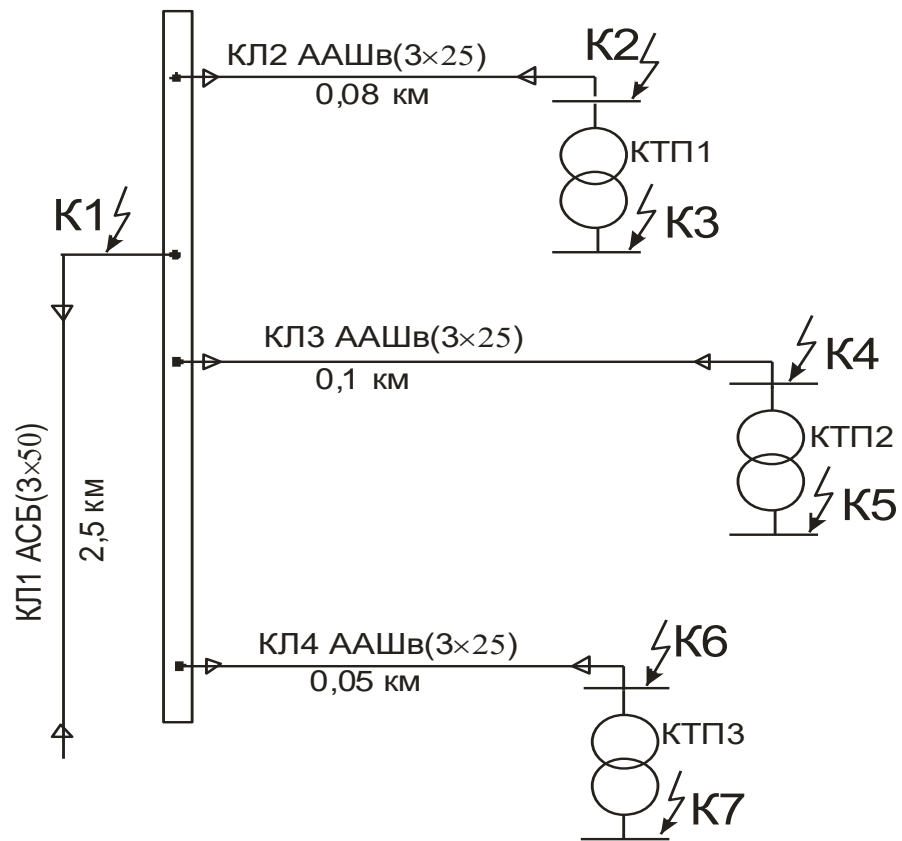


Рис.6.1. Розрахункова схема мережі надана для розрахунку струмів короткого замикання

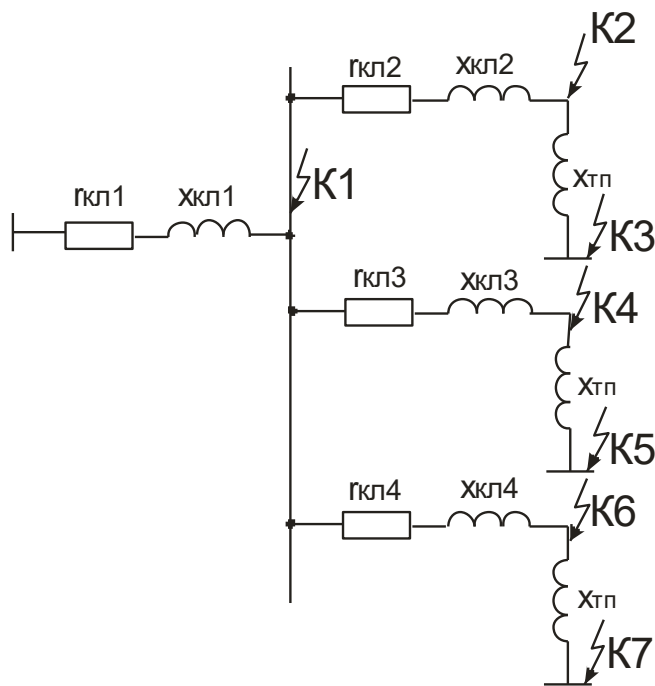


Рис.6.2. Схема заміщення мережі надана для розрахунку струмів К3

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Розрахунок виконуємо за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel. Результати вказаних розрахунків знаходяться в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1. Струми КЗ в характерних точках СЕП

| № точки к.з. | R, Ом | X, Ом | I_k'' , кА | T_a , с | k_{y0} | i_{y0} , кА |
|--------------|--------|--------|--------------|-----------|----------|---------------|
| 1 | 1,5940 | 1,3330 | 2,92 | 0,0027 | 1,025 | 4,23 |
| 2 | 1,6930 | 1,3410 | 2,81 | 0,0025 | 1,018 | 4,05 |
| 3 | 0,0051 | 0,0159 | 13,83 | 0,0099 | 1,364 | 26,68 |
| 4 | 1,7180 | 1,3430 | 2,78 | 0,0025 | 1,018 | 4,00 |
| 5 | 0,0051 | 0,0159 | 13,83 | 0,0099 | 1,364 | 26,68 |
| 6 | 1,6560 | 1,3380 | 2,85 | 0,0026 | 1,021 | 4,12 |
| 7 | 0,0050 | 0,0159 | 13,83 | 0,0101 | 1,372 | 26,83 |

6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж

Вибираємо перетин жил кабелів згідно джерела [10] за економічною густиною струму.

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} \quad (6.4)$$

де $j_{ек} = 1,4 \text{ А/мм}^2$

Перевіряємо за умовами:

$$1. I_{роб.форс.} \leq I_{доп} \quad (6.5)$$

$$2. F_{min} \geq \frac{\sqrt{B_k}}{C} \quad (6.6)$$

$$C = 91 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$$

Приклад (розрахунок для КЛ-2)

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{931,2}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 27 \text{ А}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$F = \frac{27}{1,4} = 19,3 \text{ мм}^2$$

Обираємо кабель ААШв-10 (3×25), у котрого Ідоп=90,0 А.

Перевірка за умовами:

1. $27 < 90$

2. $F_{\min} = \frac{\sqrt{2810^2 \cdot 1,565}}{91} = 38,4$

Таким чином, обраний кабель не задовольняє 2-й умові. Тому обираємо ААШв-10 (3×50), Ідоп=134,0 А.

Таблиця 6.1. Вибір кабелів 10 кВ підприємства

| № КЛ | Sp, кВА | Ip, А | Переріз, мм ² | Кількість КЛ | Марка кабелю | Призначення |
|------|---------|-------|--------------------------|--------------|--------------|-------------------|
| КЛ2 | 931,2 | 27 | 50 | 2 | ААШв(3×50) | ЦРП-ТП1 |
| КЛ3 | 951,35 | 27,5 | 50 | 2 | ААШв(3×50) | ЦРП-ТП2 |
| КЛ4 | 431,9 | 25 | 50 | 1 | ААШв(3×50) | ЦРП-ТП3 |
| КЛ1 | 2074,6 | 60 | 50 | 2 | АСБ(3×50) | Ен. система - ЦРП |

6.3. Вибір електрообладнання

Вибір вимикачів (комутаційних апаратів)

Вибір комутаційних апаратів здійснюється згідно наступних параметрів:

Напруги
$$U_{вст} \leq U_{ном} \quad (6.7)$$

Струму
$$I_{ном} \leq I_{ном}; I_{роб.форс} \leq I_{ном} \quad (6.8)$$

$$I_{п.т} \leq I_{відк.ном} \quad (6.9)$$

Здатності на відключення
$$i_{а.т} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} * I_{відк.ном} * (1 + \beta_n) \quad (6.10)$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

За ударним струмом $i_y \leq i_{\text{вкл}}; I_{\text{п.о.}} \leq I_{\text{вкл}}$ (6.11)

За термічною стійкістю $B_k \leq I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}}$ (6.12)

На ЦРП підприємства, де проектується система електропостачання приймаємо до встановлення комірки розподільчі КРП типу КУ-10Ц, які ідуть у комплекті з вакуумними вимикачами ВР-1.

На вводах ЦРП підприємства

Таблиця 6.2. Вибір ввідних вимикачів 10 кВ.

| Параметри мережі | Розрахункові формули | Параметри вимикача |
|---|---|---|
| 10 кВ | $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$ | 10 кВ |
| 120 А | $I_{\text{роб}} \leq I_{\text{ном}}$ | 630,0 А |
| 2,92 кА | $I_K \leq I_{\text{динс}}$ | 20,0 кА |
| 4,23 кА | $i_y \leq 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{динс}}$ | 51,0 кА |
| 2,92 кА | $I_{\text{нг}} \leq I_{\text{номввідкл}}$ | 20,0 кА |
| $\sqrt{2} \cdot 2,92 + 2,42 = 6,55$ кА | $\sqrt{2} \cdot I_{\text{номг}} + i_{\text{ат}} \leq \sqrt{2} \cdot I_{\text{нввідкл}} (1 + \beta_H)$ | $\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,25) = 35,26$ кА |
| $2,92^2 (0,03 + 1,5 + 0,045) = 13,4$ кА ² ·с | $B_k \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}$ | $20^2 \cdot 3 = 1200$ кА ² ·с |

Вибір трансформаторів власних потреб (ТВП)

Потужність трансформаторів власних потреб вибирається згідно навантаженням власних потреб із урахуванням їх коефіцієнтів завантаження й попиту.

Розрахункове навантаження для ТВП:

$$S_{\text{розр}} = K_C \cdot \sqrt{(P_{\text{встр}}^2 + Q_{\text{встр}}^2)}, \quad (6.16)$$

$K_C = 0,8$ - коефіцієнт попиту

Умова виборк потужності ТВП:

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

$$S_{тр} \geq \frac{S_{розр}}{1,4} \quad (6.17)$$

Споживачі власних потреб споживають наступну потужність:

$$S_{розр} = K_C * \sqrt{(P_{естр}^2 + Q_{естр}^2)} = 0,8 \cdot \sqrt{17^2 + 0^2} = 16 \text{кВ} * A$$

$$S_{тр} \geq \frac{S_{розр}}{1,4} = \frac{16}{1,4} = 11,4 \text{кВ} * A;$$

Обираємо трансформатор ВП ТМ – 25/10 із наступними параметрами:

$$S_{ном} = 25,0 \text{кВА}, U_{вн} = 10 \text{кВ}, U_{нн} = 0,4 \text{кВ},$$

$$K_з = \frac{S_{роз}}{S_{ном}} = \frac{16}{25} = 0,64.$$

Таблиця 6.4. Навантаження власних потреб на ЦРП

| № п/п | Споживач | Потужність, кВт |
|---------------|--|--------------------|
| 1 | Обігрів комірок КРП 10 кВ. | 8×1 |
| 2 | Освітлення, опалення і вентиляція приміщення ЗРУ | 10 |
| 3 | Навантаження яке споживають оперативні кола | 2,0 |
| <i>Всього</i> | | 20 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. РОЗРОБКА СПОСОБУ ДОСТОВІРНОГО ПРИЙОМУ ІНФОРМАЦІЇ СИТЕМИ ТЕЛЕМЕХАНІКИ В МЕРЕЖАХ 10-35 кВ

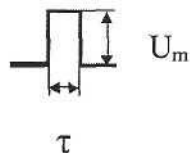
У сисемах телемеханіки в електричних мережах як елементарні сигнали використовуються звичайні послідовності змінного струму з різною амплітудою, тривалістю, частотою заповнення і формою огинаючої. Вибір вказаних ознак направлений на забезпечення заданого рівня достовірності передачі повідомлень в тих умовах, що вимагають пропускнуєї спроможності.

7.1 Вибір параметрів одиничного сигналу для передачі інформації по розподільчих мережах 10-35 кВ

У сучасних телемеханічних системах використовуються дискретні сигнали, що складаються з окремих елементів, що називається імпульсними послідовностями. Під імпульсом в телемеханіці розуміють короткочасну дію електричного струму або напруги [11]. Імпульси постійного струму або напруги називаються відеоімпульсами. Радіоімпульси одержують шляхом наповнення імпульсів постійного струму високочастотними коливаннями. Форми імпульсів приведені на рис. 7.1. Відрізнити один імпульс від іншого дозволяють імпульсні ознаки [11, 12].

Основні види імпульсних ознак наступні:

а) Амплітудна ознака "да-ні" - імпульси відрізняються по амплітуді. Використовують два крайні значення амплітуди - наявність - "1" і відсутність - "0". Для відеоімпульса



$$A_1(t) = U_m; \tau$$

$$A_2(t) = 0$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

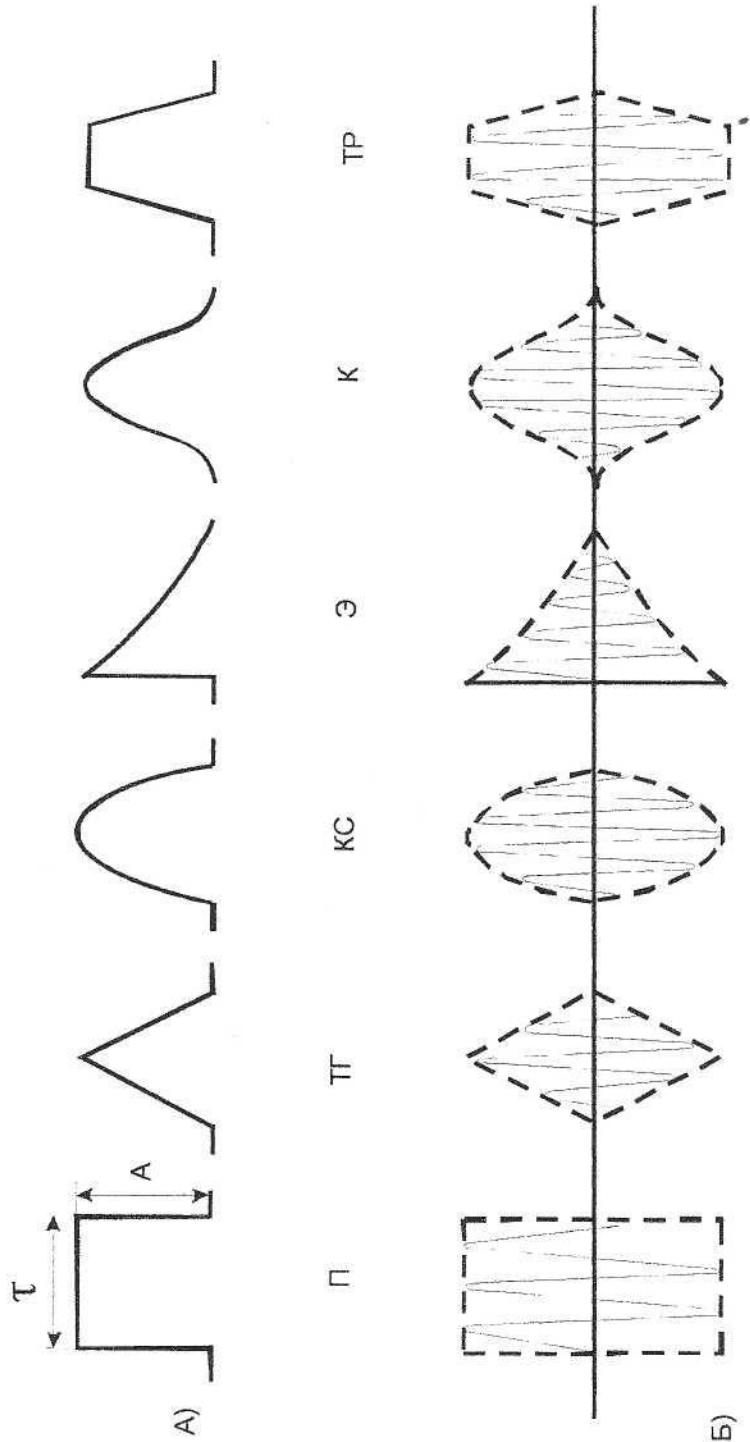
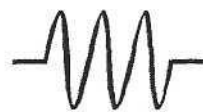


Рис. 3.2 Форма імпульсів: А - відеоімпульсів; Б - радіоімпульсів (П - прямокутний; ТГ - трикутний; КС - косинусоїдний; Э - експоненціальний; К - колокоподібний; ТР - трапецеїдальний)

Для радіоімпульсу

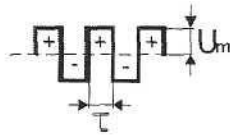


$$A_1(t) = U_m \sin \omega t;$$

$$A_2(t) = 0$$

| | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------|
| | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | Арк. |

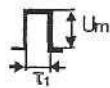
б) Полярну ознаку принципово має два значення - позитивний і негативний імпульси і широко застосовується в системах телемеханіки, як при частотному ущільненні, так і при виділеній фізичній лінії зв'язку



$$A_1(t) = U_m; \tau$$

$$A_2(t) = U_m; \tau$$

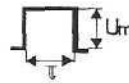
в) Широтно-імпульсна (тимчасова) ознака - імпульсні посилки відрізняються одна від одної тривалістю



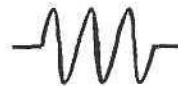
$$A_1(t) = U_m; \tau_1$$



$$A_1(t) = U_m \sin \omega t_1$$

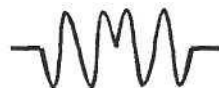


$$A_1(t) = U_m; \tau_2$$



$$A_2(t) = U_m \sin \omega t_2$$

г) Фазова ознака - імпульсні посилки відрізняються одна від одної по фазі, по відношенню до деяких опорних міток або опорної частоти, наявних в місці прийому. Найбільш проста реалізація фазової ознаки досягається при двох крайніх значеннях фази сигналів 0° і 180°



$$A_1(t) = U_m \sin \omega t$$

$$A_1(t) = U_m \sin(\omega t + 180^\circ)$$

д) Частотна ознака - імпульсні посилки відрізняються одна від одної по частоті



$$A_1(t) = U_m \sin \omega_1 t$$



$$A_2(t) = U_m \sin \omega_2 t$$

Вибір виду імпульсних ознак залежить від типу каналу зв'язку, по якому передаються сигнали. У роботах [12, 13] показана можливість передачі

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | |

по розподільних мережах інформації за допомогою відеоімпульсів. Подібні способи не набували поширення із-за наявності в розподільних мережах інтенсивних імпульсних перешкод, що погіршує розпізнавання на прийомі корисних сигналів і перешкод. Для передачі інформації по каналах зв'язку, як правило, застосовують приватні посилки (радіоімпульси).

7.2 Спосіб прийому інформації після каналів телемеханіки в умовах дугового замикання на землю

Як показали дослідження, передача сигналів по сільських розподільних мережах 10 кВ обмежена із-за дії перешкод різного характеру на телемеханічні приймачі.

У зв'язку з тим, що на приймач сигналів впливають перешкоди різні як по структурі, так і за своєю природою утворення, використовуємо комплексний підхід по боротьбі з ними.

Придушення гармонійних, комбінаційних перешкод, а також перешкод зосереджених по частоті (радіопередавальні центри, канали високочастотного зв'язку по ЛЕП) виконуємо шляхом вибору оптимального частотного діапазону (10-50 кГц).

Придушення флуктуаційних перешкод виконуємо методом обмеження сигналу з низу. Цей метод застосовують, якщо амплітуда перешкоди значно менше амплітуди сигналу.

Для збільшення перешкодозахищеності приймача застосуємо метод селекції по тривалості. Оскільки імпульсні перешкоди набагато коротші за сигнал, застосовують селектор тривалості, який пропускає триваліші імпульси і не пропускає короткі.

Основним чинником, що заважає передачі сигналів в лініях 10 кВ, є електричні дуги, що виникають як під час комутації, так і в режимі замикання на землю. Якщо в першому випадку перешкоди носять вельми короткочасний характер, то в режимі замикання на землю переміжача дуга може існувати тривалий час, визначаєма характером

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

замикання, і створювати інтенсивні перешкоди.

У вибраному частотному діапазоні 10-50 кГц електрична дуга викликає збільшення шумової складової в основному за рахунок зростання рівнів вищих гармонійних складових напруги і їх комбінацій, а також появи високочастотних імпульсів. Передача сигналів в цьому випадку виявляється ускладненою, оскільки збільшити рівень корисного сигналу з тим, щоб одержати достатнє перевищення його над рівнем імпульсної перешкоди, практично неможливо.

У той же час дослідження показують, що синхронність перешкод при замиканнях на землю з напругою мережі обумовлює їх відсутність в зоні переходу напруги через нуль, що послужило підставою для створення приймача і передавача, що діє синхронно з напругою мережі. Передавач формує сигнальну послілку в лінію тільки при напрузі, на зворотній фазі, близькою до нуля. Сигнальні послілки передавача, надсилаємі з частотою 100 Гц, розташовані між пачками перешкод викликаних дуговим замиканням на землю. У приймальному напівкомплекті в ті ж тимчасові інтервали відбувається надходження сигналів від демодулятора в декодер. Решта часу декодер виявляється відключений від демодулятора, що знижує вірогідність помилки при декодуванні повідомлень. Проте успішне застосування описаного принципу передачі сигналів пред'являє жорсткі вимоги до синхронізації приймального і передавального пристрою.

Оцінимо умови, що забезпечують стійкі дугові замикання на землю в повітряних мережах 10 кВ, з метою вибору опорної напруги для синхронізації роботи пристрою імпульсної телемеханіки і моменту часу передачі інформації.

Схема заміщення мережі при дуговому замиканні на землю показана на рис. 7.2. При замиканні ключа 8 в контурі замикання протікатимуть примушений струм від джерела і вільний, обумовлений розрядом місткості. Характеристичне рівняння для вільного струму має вигляд [12].

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

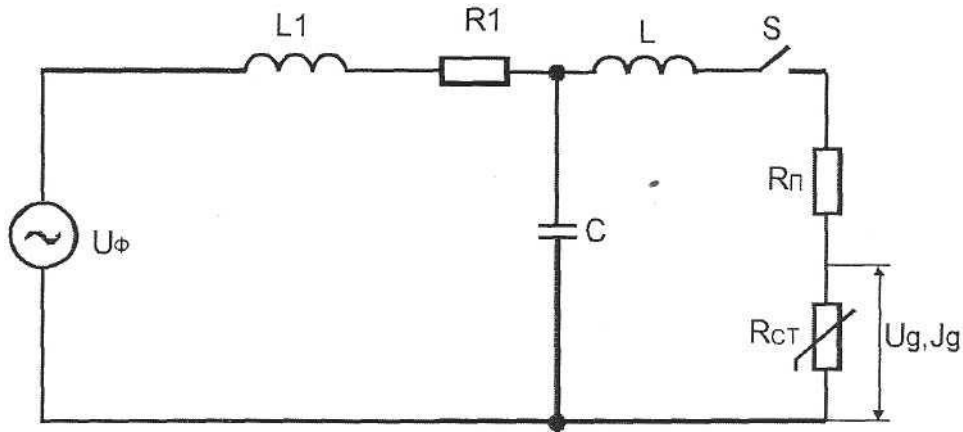


Рис. 3.2 - Схема заміщення мережі при дуговому замиканні на землю.

L_1, R_1 - параметри джерела;

L, C - параметри мережі;

$R_{п}$ - перехідні опори в місці замикання на землю;

$R_{ст}$ - статистичний опір дуги.

$$P_2 + P \left(\frac{R_n}{L} + \frac{U_q}{i_q} \cdot \frac{1}{L} \right) + \frac{1}{LC} = 0$$

а миттєве значення струму визначається як

$$i_g = \frac{U_q (P\theta + 1)}{R_{ст} (P\theta + 1)}$$

де: $\theta = \frac{Q}{P_0}$ - постійна часу дуги;

Q_0 - теплоємність в одиниці довжин дуги;

P_0 - потужність, що відводиться, від одиниці довжини дуги;

U_0, I_0 - сталі значення напруги і струму на дузі.

Тоді з врахуванням (3.9) рівняння (3.8) запишеться в операторній формі як

$$P^3 + P^2 \left(\frac{1}{\theta} + \frac{R_n}{L} + \frac{R_{ст}}{L} \right) + P \left(\frac{R_n}{\theta L} + \frac{1}{LC} - \frac{R_{ст}}{\theta L} \right) + \frac{1}{QLC} = 0$$

Стійкість горіння дуги можна оцінити по вигляду корня рівняння (3.10). У [12] показано, що дуга горить стійко, якщо виконується умова

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$\left(\frac{1}{\theta} + \frac{R_n}{L} + \frac{R_{cr}}{L}\right) \left(\frac{R_n}{\theta L} + \frac{1}{LC} - \frac{R_{cr}}{\theta L}\right) - \frac{1}{\theta LC} > 0$$

Для повітряної мережі з сумарною довжиною лінії 10 кВ рівною 112,5 м (математичне очікування протяжності мережі 10 кВ має місткість фази щодо землі $C=0,56 \cdot 10^{-6} \Phi$ ($C_0 = 5 \cdot 10^{-9}$ ф/км) і індуктивність провід - земля $L = 27 \cdot 10^{-2}$ Гн ($L_0=2,4 \cdot 10^{-3}$ Гн/км). З урахуванням цього, а також прийнявши постійну часу дуги рівною $\tau = 10^{-4}$ С для випадку відкритих дуг, рівняння (3.11) можна представити у вигляді

$$R_n^2 + 2,88 \cdot 10^3 R_n > R_{cr}^2 + 2,52 \cdot 10^3 R_{cr}$$

величину статичного опору дуги оцінимо для відкритих дуг при к.з.
[101]

$$R_{cr} = 1050 \frac{L_g}{I_3}$$

Прийнявши довжину дуги не більше $L_g \leq 0,5$ м. Тоді, для даної мережі маємо

$$R_{cr} = 1050 \frac{0,5}{3,04} = 173 \text{ Ом}$$

$$\text{де } I_3 = CU_\phi = 3,314 \cdot 0,56 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{10^3}{\sqrt{3}} = 3,04 \text{ А}$$

З урахуванням цього вираз (3.12) можна представити як

$$R_n^2 + 2,88 \cdot 10^3 R_n > 466 \cdot 10^3$$

Рівняння (3.13) приводиться до вигляду

$$\left(R_n - \frac{2,88 \cdot 10^3}{2}\right)^2 > \left(\frac{2,88 \cdot 10^3}{2}\right)^2 + 4,66 \cdot 10^3$$

або

$$\left(R_n - \frac{2,88 \cdot 10^3}{2}\right)^2 > 2,54 \cdot 10^6$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Звідки маємо $R_{\Pi} > 155 \text{ Ом}$, а в цілому опір в місці пошкодження

$$R_3 > R_{\Pi} + R_{\text{ст}} = 328 \text{ Ом}$$

Таким чином, дуга при замиканні може стійко горіти в режимі близькому до так званого металевого замикання на землю. В даному випадку коефіцієнт полісти замикання складе $\beta = 0,985$. Це підтверджується також з літературних джерел. Так, наприклад, в [18] наголошується, що горіння дуги при замиканні на землю можливо при $\beta = 0,9 - 0,95$.

У загальному випадку активний опір в ланцюзі струму замикання на землю може змінитися в широких межах від десятків Ом до декількох мОм. У роботі [13] наводяться експериментальні дані, що показують, що в 75% випадках замикань, опір в ланцюзі струму R_3 не перевищує 1 кОм. Не виключаються проте значення $R_3 = 6 + 8 \text{ кОм}$. Стосовно даної мережі коефіцієнт повноти замикання з урахуванням відміченого знаходиться в межах $\beta = 0,23 + 0,88$. Слід зазначити, що замикання на землю з повнотою $\beta \leq 0,2$, як правило самоусуваються [12]. Проведений аналіз дозволяє оцінити фазові кути між напругою фази щодо землі, до якої підключено пристрій телемеханіки (УТМ), напругою пошкодженої фази і напругою синхронізації. Оскільки горіння відкритих дуг відбувається у момент максимальної напруги на пошкодженій

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

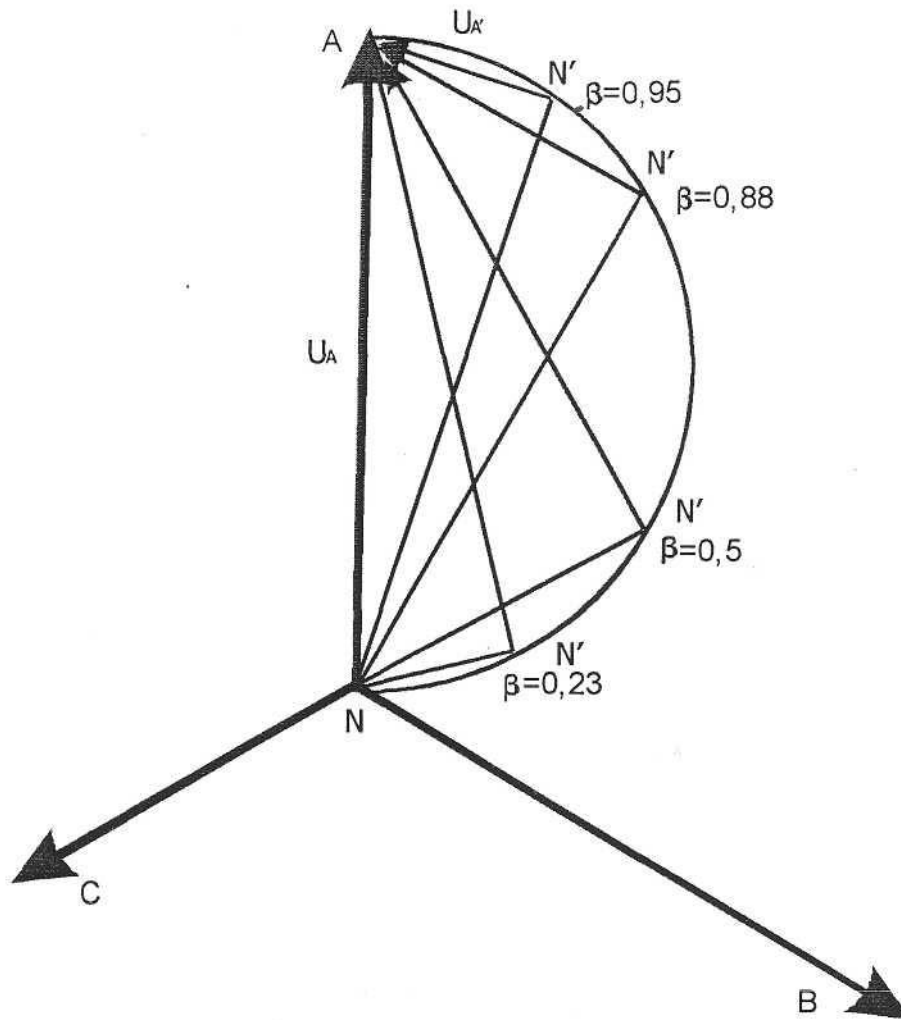


Рис. 7.3 - Векторна діаграма напруг фази "А" при замиканні на неї

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

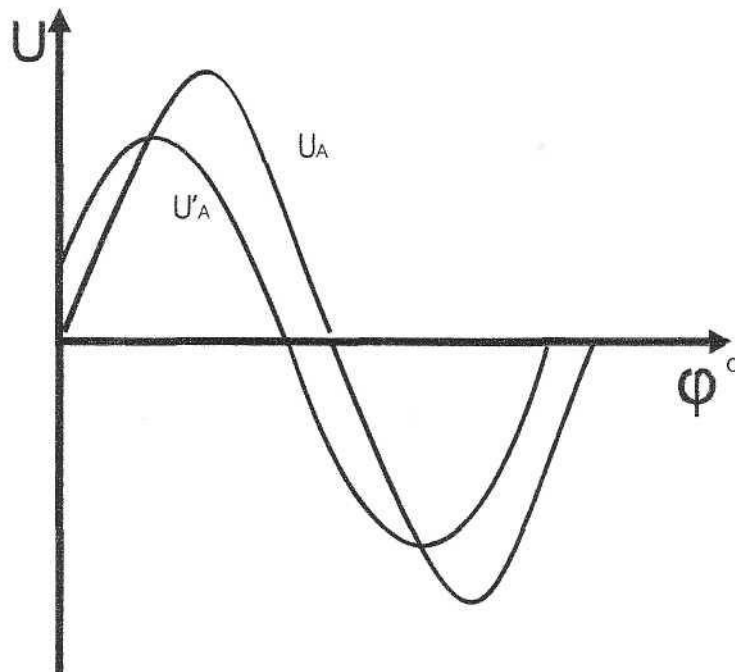
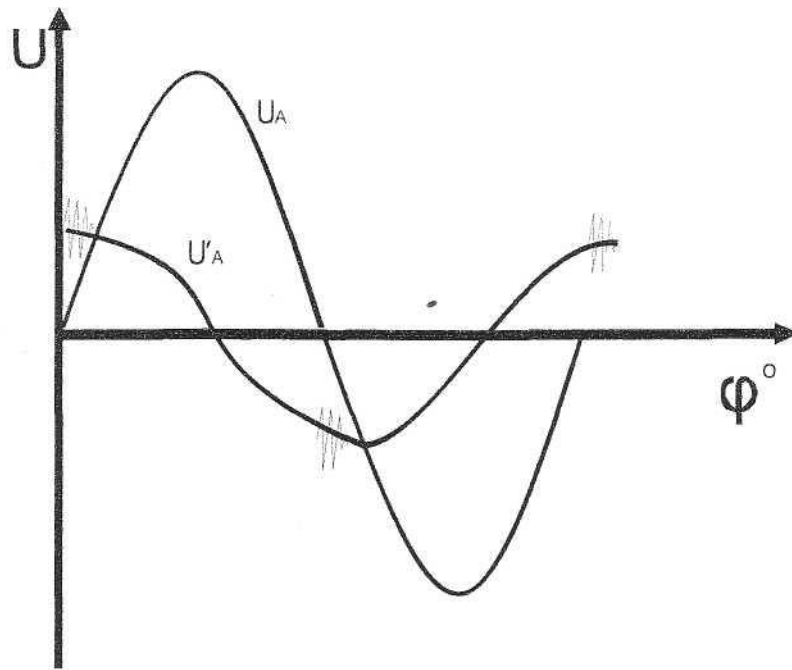


Рис.7.4 - Осцилограми напруг фази "А" при замиканні її на землю

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

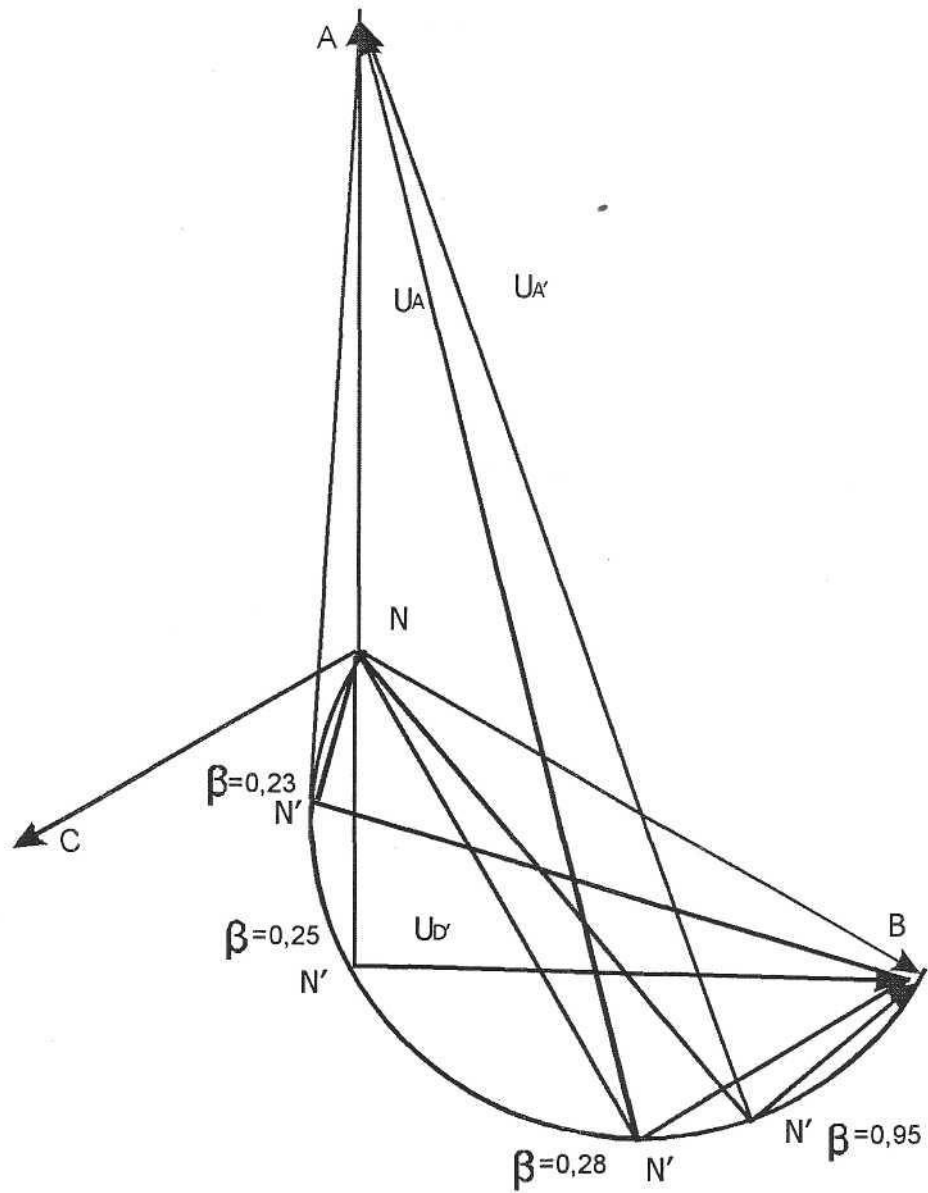


Рис. 7.5 - Векторна діаграма фазних напруг при замиканні на землю фази "В"

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

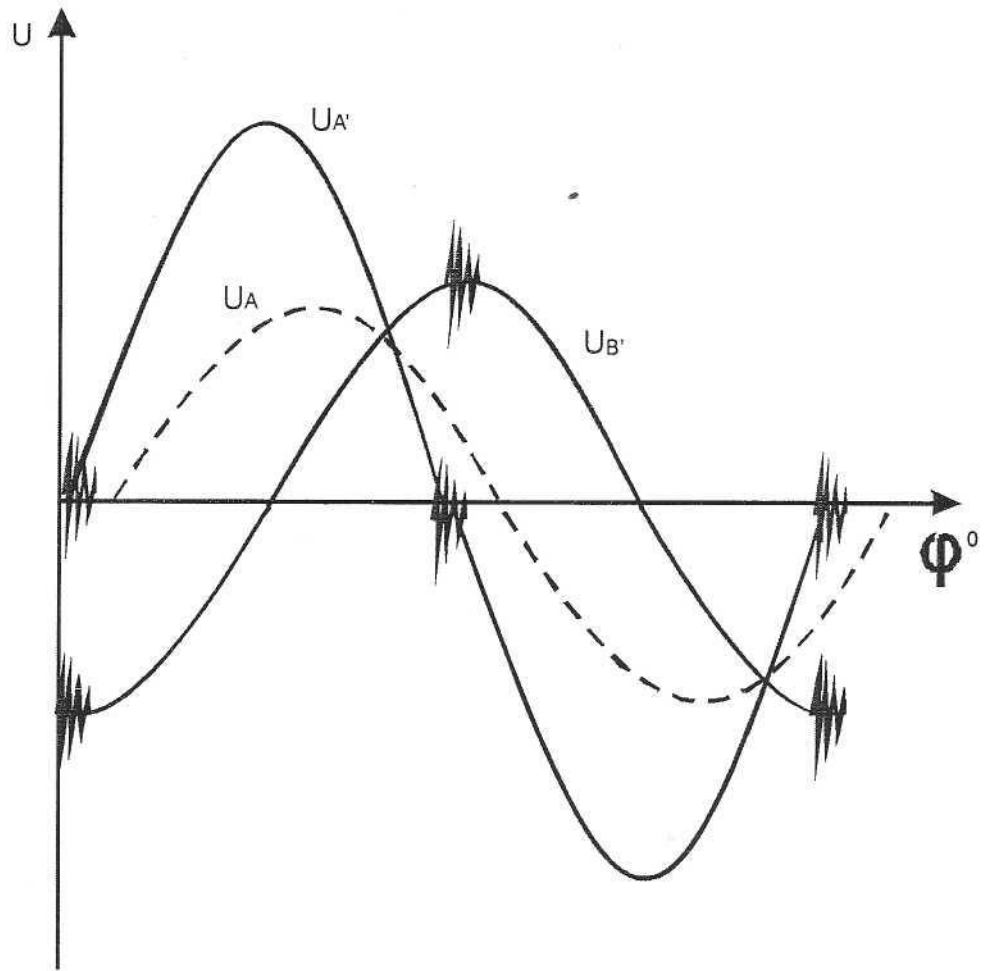


Рис.7.6 - Осцилограми напруг фази "В" при її замиканні на землю

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

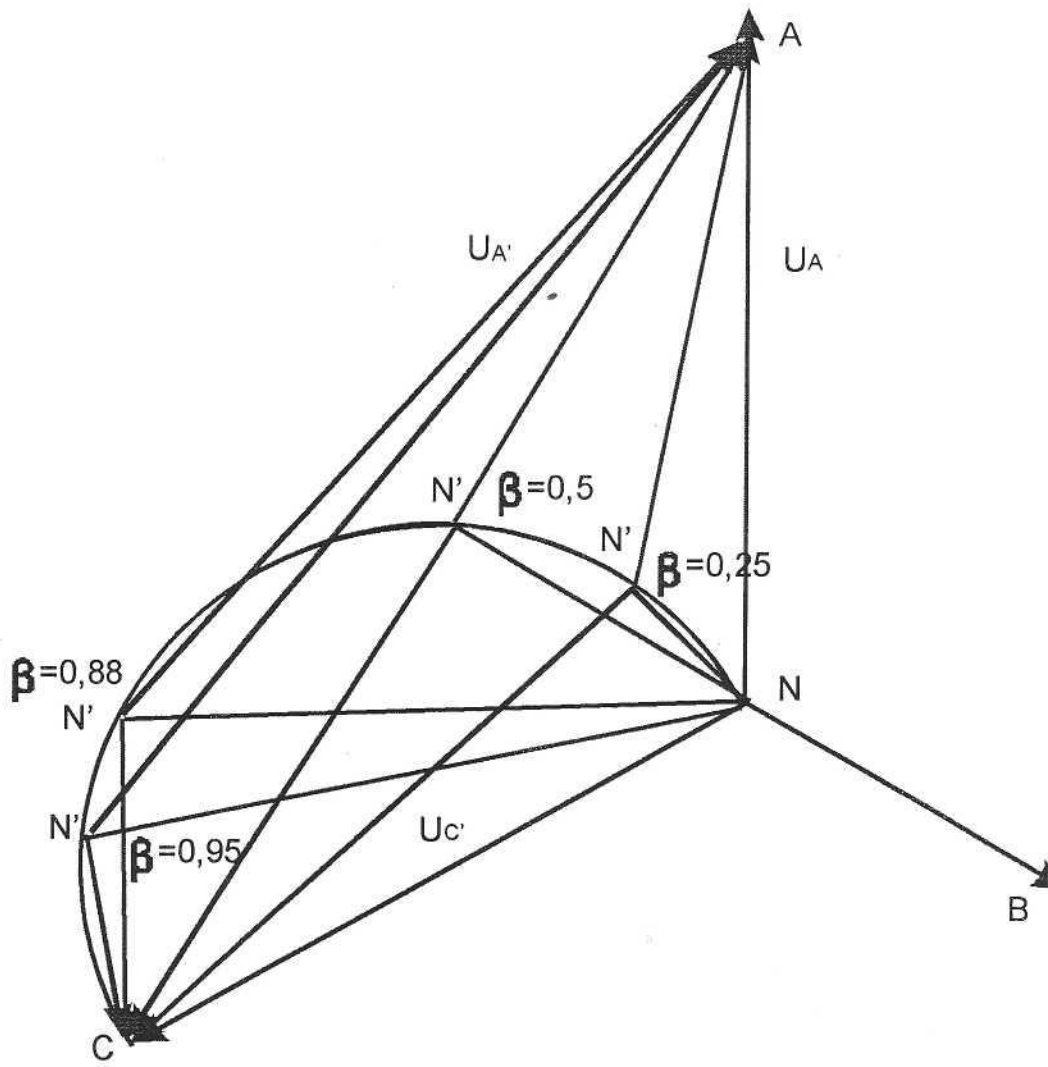


Рис. 7.7 - Векторна діаграма напруг при замиканні на землю фази "С".

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

замикання від ($\beta = 0,23$ до ($\beta = 0,95$, кут між векторами напруг U_a і U'_a змінюється і складає відповідно 15° ; 35° ; 70° і 80° . Тому якщо за напругу синхронізації прийняти напругу фази щодо нейтралі джерела U_a , то при повноті замикання ($\beta = 0,9$ передачу і прийом телемеханічної інформації слід вести у момент часу, коли напруга синхронізації проходить через максимальне значення (рис.3.4а). При коефіцієнті повноти замикання ($\beta < 0,5$ робота пристрою телемеханіки відбувається під час переходу напруги синхронізації через нульове значення (рис. 7.4 б).

Проте при замиканні на землю фази В (рис.7.5) кут між напругою U_a^1 фази, до якої підключено пристрій телемеханіки і напругою синхронізації I_a за тих же умов замикання складає від 0° до 20° , а між напругою пошкодженої фази U_b^1 від 70° до 150° . При сумісному розгляді цих кривих напруг (рис.3.6) можна зробити висновок, що при будь-якій повноті замикання робота пристрою телемеханіки повинна здійснюватися у момент часу переходу напруги синхронізації через максимальне значення.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

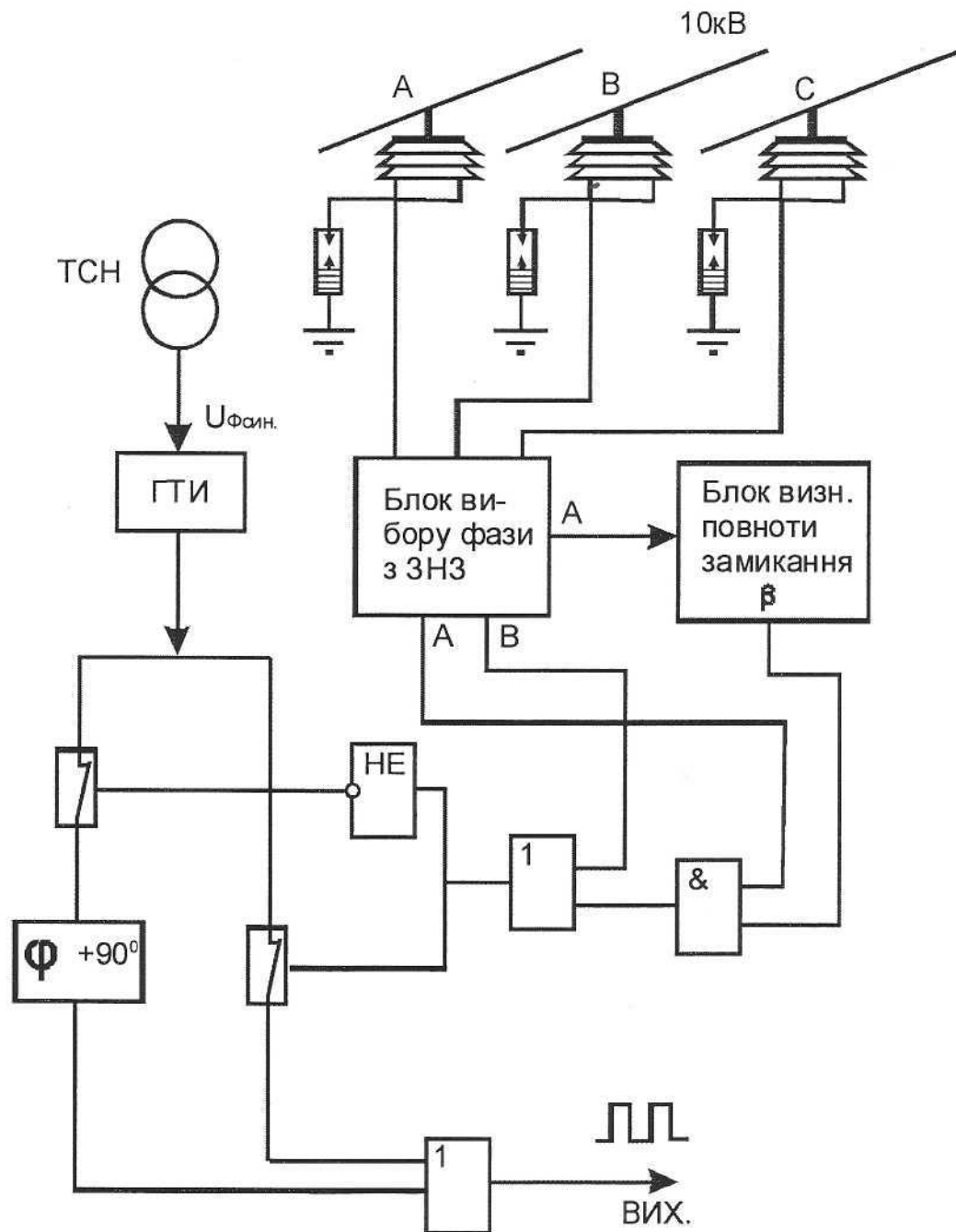


Рис. 7.9 - Структурна схема блоку синхронізації

За тих же умов замикання на землю на випереджаючій фазі С (рис. 7.7) кут між напругою U_a^1 і U_a змінюється від 10° до 40° , а між U_a^1 і U_c^1 від 130° до 180° . З приведеної розрахункової осцилограми кривих виходить, що робота пристрою телемеханіки в цьому випадку повинна здійснюватися у момент переходу напруги синхронізації через нульове значення (рис.3.8).

Таким чином, для забезпечення надійної роботи пристрою

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

телемеханіки останній повинен містити логічний блок, що враховує приведені вище співвідношення. Структурна схема блоку синхронізації приведена на рис.7.9. Результати приведених досліджень дозволяють перейти до розробки схем прийому і передачі сигналів з розширеним спектром по сільських мережах 10 кВ.

Висновки по розділу

1. В результаті досліджень визначені параметри одиничного сигналу, що дозволяють організувати надійний телемеханический канал по повітряних розподільних мережах 10 кВ. При цьому виключається шунтуюча дія резонуючих відпайок.

Параметри одиничного сигналу:

- мінімальне значення сигналу на прийомі $U_c = 1$ В;
- оптимальна тривалість елементарної послідовності з умови її проходження по розподільній мережі $\tau = 2$ мс;
- максимальна потужність передавача $P_{п} = 10$ Вт.

2. Оцінено вплив імпульсного сигналу на інші системи передачі інформації і показана їх електромагнітна сумісність.

3. На підставі аналізу роботи сільських розподільних мереж 10 кВ в режимі однофазного замикання на землю розроблений спосіб передачі і прийому сигналів, який передбачає введення в розподільну мережу 10 кВ радіоімпульсу прямокутної форми з частотою заповнення з діапазону 10-50 кГц у момент переходу фази напруги 10 кВ через нульове значення.

4. Запропонований спосіб синхронізації, який дозволяє забезпечити стійку передачу і прийом інформації за наявності в розподільній мережі 10 кВ однофазного дугового замикання на землю із швидкістю передачі 100 біт/с.

5. На підставі запропонованих способів можлива реалізація пристроїв телемеханіки з передачею сигналів по повітряних розподільних мережах 10 кВ.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ВИСНОВКИ

Спроектowana система електропостачання текстильного комбінату загалом відповідає вимогам безперебійності та стабільності. Використання сучасних джерел живлення та резервних систем дозволяє мінімізувати ризики простоїв у виробництві. Вимірювання параметрів електропостачання засвідчили, що напруга і частота електромережі переважно відповідають нормативним значенням.

Загалом система електропостачання відповідає чинним екологічним стандартам, а впровадження додаткових заходів, таких як використання відновлюваних джерел енергії, сприятиме зниженню впливу на довкілля.

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плешков П.Г., Зінзура В.В., Гарасьова Н.Ю., Котиш А.І., Величко Т.В.]; – М.-во освіти і науки України, Центральноукр. Нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ПП «Ексклюзив –Систем», 2021. – 209 с.
2. Шкрабець Ф.П., Плешков П.Г. Основи електропостачання. Навчальний посібник –Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010. – 408 с.
3. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П. Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.
4. Мілих В.І. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків: ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
5. Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. - Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007. – 386 с.
6. Надійність електроенергетичних систем: Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С.В. Казанський. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 67 с.
7. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання / Орлович А.Ю., Плешков П.Г., Козловський О.А., Співак О.В., Котиш А.І., Величко Т.В. Навчальний посібник. Видавець Лисенко В.Ф., м.Кропивницький, 2020р. – 272 с.
8. Черемісін М. М., Мороз О. М., Єгоров О. Б., Швець С. В. Перехідні процеси в системах електропостачання: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / М. М. Черемісін, О. М. Мороз, О. Б. Єгоров, С. В. Швець. — Харків: ТОВ "В справі", 2016. — 260 с.
9. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2013. – 533 с.
10. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво «Форт», 2017. - 760 с.

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | |

11. Воробієнко П.П., Нікітюк Л.А., Резніченко П.І. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: Підручник. К.: САММІТ-Книга, 2010. 708 с.

12. Плешков П.Г., Серебренніков С.В., Петрова К.Г. Телемеханіка та автоматизовані системи управління в електроенергетиці: навч. посіб. Кіров. нац. тех. ун-т. Кіровоград: КНТУ, 2016. 163 с.

13. Горбатий І.В., Бондарєв А.П. Телекомунікаційні системи та мережі. Принципи функціонування, технології та протоколи. Львів: Львівська політехніка, 2016. 336 с.

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | |