МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

**Користятинець Роман Володимирович**

УДК 621.3.01

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Обґрунтування та розрахунок релейного захисту та автоматики головної понижуючої підстанції і лінії живлення промислового підприємства**

(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Користятинець Р.В.
(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Цивенкова Наталія Михайлівна
(прізвище, ім'я, по батькові)
к.т.н., доцент кафедри електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2026

## АНОТАЦІЯ

Користятинець Р.В. Обґрунтування та розрахунок релейного захисту та автоматики головної понижуючої підстанції і лінії живлення промислового підприємства. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

Основною метою роботи **є** розробка релейного захисту та автоматики головної понижуючої підстанції.

Результатом роботи є обґрунтування та розрахунок релейного захисту та автоматики головної понижуючої підстанції і лінії живлення промислового підприємства.

**Ключові слова:** секційний вимикач, роз'єднувач, трансформатор, трумовий захист, диференціальний захист, відсічка.

## ABSTRACT

Korystyatinets R.V. Justification and calculation of relay protection and automation of the main step-down substation and power supply line of an industrial enterprise. Qualification work for obtaining a master's degree in specialty 141 - Electric power, electrical engineering and electromechanics - Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

The main purpose of the work is to develop relay protection and automation of the main step-down substation.

The result of the work is the justification and calculation of relay protection and automation of the main step-down substation and power supply line of an industrial enterprise.

Keywords: sectionalizer, disconnector, transformer, bilge protection, differential protection, cutoff.

# ЗМІСТ


| | |
|---|---|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ | 4 |
| ВСТУП | 5 |
| РОЗДІЛ 1. ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ В ГОЛОВНІЙ ПОНИЖУЮЧІЙ ПІДСТАНЦІЇ І ЛІНІЇ ЖИВЛЕННЯ | 7 |
| 1.1. Аналіз електроустаткування головної понижуючої підстанції | 7 |
| 1.2. Характеристика пошкоджень і ненормальних режимів роботи електроустаткування головної понижуючої підстанції | 9 |
| 1.3. Вимоги до релейного захисту і автоматики систем енергозабезпечення | 10 |
| Висновки по розділу 1 | 10 |
| РОЗДІЛ 2. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ГОЛОВНОЇ ПОНИЖУЮЧОЇ ПІДСТАНЦІЇ | 11 |
| 2.1.Види релейного захисту електрообладнання головної понижуючої підстанції | 11 |
| 2.2.Особливості застосування пристроїв релейного захисту та автоматики | 12 |
| 2.2.1. Застосування пристроїв релейного захисту та автоматики в силових трансформаторах Вибір схеми цехової силової мережі | 12 |
| 2.2.2. Застосування пристроїв релейного захисту та автоматики для живлячих ліній | 16 |
| Висновки по розділу 2 | 20 |
| РОЗДІЛ 3. ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК УСТАВОК РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ГОЛОВНОЇ ПОНИЖУЮЧОЇ ПІДСТАНЦІЇ І ЛІНІЇ ЖИВЛЕННЯ | 21 |
| 3.1 Вибір та розрахунок струмів короткого замикання | 21 |
| 3.2. Вибір та розрахунок уставок пристроїв релейного захисту | 23 |
| Висновки по розділу 3 | 37 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ | 38 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 39 |

# ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АВР – автоматичне включення резерву

АД – асинхронний двигун

ЕО – електрообладнання

ЕП – електроприймач

ДЗТ – диференціальний захист трансформатора

ККУ – комплектні конденсаторні установки

ПЗ – пристрій заземлення

РНТ – реле з насичувальним трансформатором

РТ – реле селективного захисту розподільчих елнктричних мереж

РП – розподільний пункт

ШНВ – шафа низьковольтна ввідна

ШНЛ – шафа низьковольтна лінійна

ШРА – шинопровід розподільчий алюмінієвий

ЩАО – щиток аварійного освітлення

ЩРО – щиток робочого освітленн

# ВСТУП

**Актуальність роботи.** Від ефективності системи електропостачання безпосередньо залежить продуктивність, безпека та економічна доцільність роботи підприємства. Сучасні промислові підприємства характеризуються високою концентрацією електрообладнання та значним споживанням електроенергії. Це висуває особливі вимоги до проектування, монтажу та експлуатації систем електропостачання. Через це питання визначення релейного захисту та автоматики головної понижуючої підстанції є актуальними.

**Метою роботи є** забезпечення релейного захисту головної понижуючої підстанції підприємства.

Для досягнення запланованого в роботі реалізуються такі завдання:

1. Здійснення аналізу схеми електроустановки, обрання установок релейного захисту.

2. Виконання розрахунку установок релейного захисту головної понижуючої підстанції підприємства.

**Об'єктом дослідження** є аналіз схеми електроустановки головної понижуючої підстанції підприємства.

**Предметом дослідження є** електрична схема електроустановки головної понижуючої підстанції.

**Методи досліджень.** Під час проведення досліджень, використовувалися методи системного аналізу, методи математичного моделювання.

**Практична значимість результатів роботи:**

Сформовано методологічні засади покращення вибору, електропостачання промислового об'єкту, що дають змогу успішно вирішувати такі практичні проблеми:

1. Удосконалити вибір системи релейного захисту та автоматики головної понижуючої підстанції типового промислового об'єкта згідно з його особливостями, можливостями для встановлення необхідного обладнання.

2. Надалі проводити розбудову системи релейного захисту та автоматики.

**Перелік публікацій автора за темою дослідження :**

Користятинець Р.В. РОЗРАХУНКИ СТРУМІВ КЗ В ЖИВИЛЬНІЙ І РОЗПОДІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

Наукові читання – 2026: збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 20 квітня 2026 р. Житомир: Поліський національний університет, 2026. - С 107-108.

Користятинець Р.В., Оліщук М.І. ХАРАКТЕРИСТИКА ПОШКОДЖЕНЬ І НЕНОРМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ ГПП

Наукові читання – 2026: збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 20 квітня 2026 р. Житомир: Поліський національний університет, 2026. - С 81-82.

# 1. ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ В ГОЛОВНІЙ ПОНИЖУЮЧІЙ ПІДСТАНЦІЇ І ЛІНІЇ ЖИВЛЕННЯ

## 1.1 Аналіз електроустаткування головної понижуючої підстанції

Головна понижуюча підстанція включає в себе такі елементи: понижуючі трансформатори Т1 і Т2; секційні вимикачі$Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$;короткозамикачі і роз'єднувачі, $Q_N$і $Q_R$відповідно. Вказане обладнання встановлене на двох секціях шин (рис. 1.1).

Дана ГПП виконана двохтрансформаторною.

Роз'єднувачі застосовують на відгалужувальних підстанціях 35/6-10кВ зі спрощеною схемою 35 кВ.

Роз'єднувачі виконані у вигляді однополюсних апаратів з двома опорно-поворотними ізоляційними колонками. Поворот ножів при оперуванні відбувається в горизонтальній площині на кут 90°.

На ГПП секційний вимикач зазвичай замкнутий, через необхідність паралельної роботи генераторів. У разі пошкодження на одній із секцій секційний вимикач вимикається, відсікаючи пошкоджену секцію від розподільного пристрою (РП). Секційний вимикач спрацьовує автоматично при аваріях на одному з трансформаторів або при зниженні навантаження на підстанції до значення, при якому для зменшення втрат вигідно перейти на роботу з одним трансформатором [1].

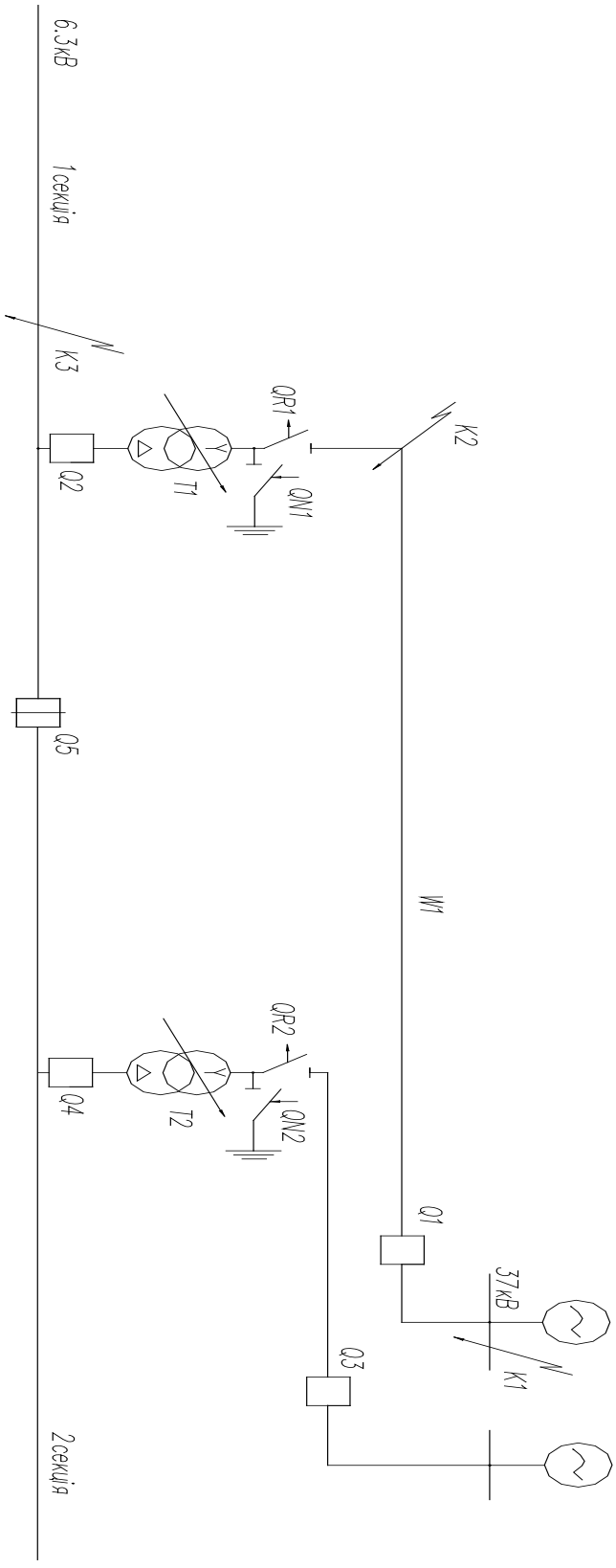



Рисунок 1.1 - Схема головної понижуючої підстанції

## 1.2 Характеристика пошкоджень і ненормальних режимів роботи електроустаткування ГПП

Усі пошкодження можна поділити на внутрішні, які виникають всередині трансформатора, та зовнішні – на його виводах та струмоведучих частинах, які приєднані до трансформатора.

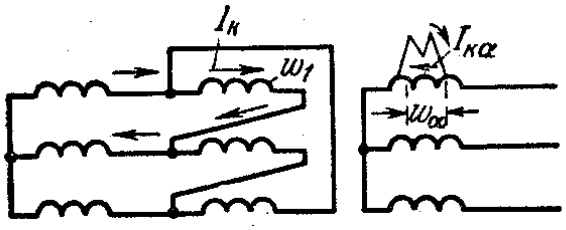



Рисунок 1.2 - Струми при витковому замиканні в обмотках трансформатора

Якщо прийняти, що в замкнутих накоротко витках $\omega_\alpha$ (рис. 1.2) струм КЗ дорівнює $I_{к\alpha}$, то струм ушкодження $I_к$, що проходить від джерела живлення, можна знайти з рівняння балансу трансформатора:

$$I_к \omega_1 = I_{к\alpha} \omega_\alpha, \text{ звідки } \quad I_к = \frac{\omega_\alpha}{\omega_1} I_{к\alpha}. \qquad (1.1)$$

Відношення $\omega_\alpha/\omega_1 < 1$, отже струм. $I_к < I_{к\alpha}$ .Чим менше число витків, що замкнулися $\omega_\alpha$ , тим менше буде струм $I_к$, що приходить з мережі.

Основними ненормальними режимами роботи трансформаторів є: проходження через трансформатор надструмів при пошкодженні інших елементів, які пов’язані з трансформатором.

Трансформатори повинні мати захист від зовнішніх КЗ, що відключає трансформатор для припинення ушкодження, струмом що протікає по ньому [1].

Масляні трансформатори допускають тривале перевантаження по струму на 5 %.

У зв’язку з цим захист від перевантаження трансформаторів повинен діяти при наявності постійного обслуговуючого персоналу на сигнал, а при його відсутності зі значною витримкою часу – на розвантаження трансформатора або на його відключення.

### 1.3 Вимоги до релейного захисту і автоматики систем енергозабезпечення

Захист повинний задовольняти чотирьом основним вимогам: діяти селективно, швидко, володіти необхідною чутливістю до пошкоджень і надійно виконувати свої функції.

Основними видами пошкоджень в ГПП є:замикання між фазами, замикання в обмотках між витками однієї фази,замикання на землю.

Основними ненормальними режимами роботи трансформаторів є: надструми, які пов’язані з трансформатором, перевантаженням, підвищенням напруги, виділенням з масла горючих газів. Релейний захист повинен бути селективним, швидкодіючим, чутливим і надійним [2].

## Висновок за першим розділом

Захист повинний задовольняти чотирьом основним вимогам: діяти селективно, швидко, володіти необхідною чутливістю до пошкоджень і надійно виконувати свої функції.

# 2 РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ГОЛОВНОЇ ПОНИЖУЮЧОЇ ПІДСТАНЦІЇ

## 2.1 Види релейного захисту електрообладнання головної понижуючої підстанції

Вимоги до захисту від замикань на землю в мережі з малим струмом замикання на землю істотно відрізняються від вимог, пропонованих до захистів від КЗ.

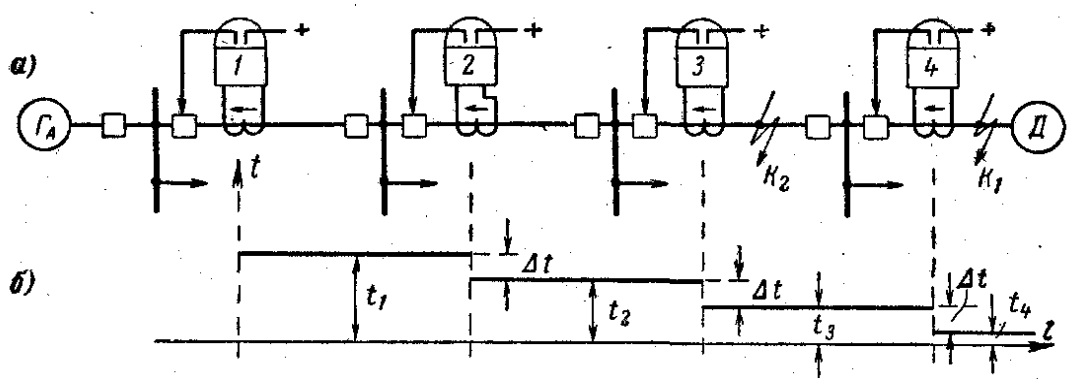



Рисунок 2.1 - Максимальні струмові захисти в радіальній мережі з однобічним живленням:
а - розміщення захистів;
б - витримки часу захистів, обрані за східчастим принципом

Захисти від замикання на землю повинні бути селективними і мати високу чутливість. Останнє викликається тим, що струми ушкодження на які реагує захист, дуже малі (5 -10 А).

Особливі вимоги пред'являються до захисту від замикань на землю в мережах, що живлять електродвигуни. Тут становить небезпеку перехід замикання на землю однієї фази вподвійне замикання.

При подвійному замиканні на землю «крокова напруга» та «напруга дотику» сягають значень, небезпечних для людей, що обслуговують установки. Тому для безпеки персоналу, захист від замикання на землю в таких мережах повинний з появою «землі» негайно відключати ушкоджену ділянку. Ці захисти повинні відрізнятися високою чутливістю, тому що ємнісні струми в мережах звичайно мають величину близько 0,5 -1 А.

## 2.2 Особливості застосування пристроїв релейного захисту та автоматики

### 2.2.1 Застосування пристроїв релейного захисту та автоматики в силових трансформаторах

Найбільш простим захистом від зовнішніх КЗ є струмовий максимальний захист. У тих випадках, коли його чутливість виявляється недостатньою, застосовуються більш чутливі струмові максимальні захисти з пуском (блокуванням) по напрузі чи ж струмові захисти зворотної і нульової послідовностей.

Понижуючі трансформатори, до яких належать трансформатори, що живлять споживачів, у більшості випадків захищаються за допомогою максимального захисту. При зовнішніх КЗ по цих трансформаторах проходить струм КЗ від усіх генераторів системи (рис. 2.2, а). Тому кратність струму КЗ виходить звичайно значною і достатньою для дії максимального захисту. При недостатній чутливості простого максимального захисту встановлюються більш чутливі захисти: максимальний захист із пуском по напрузі і захист зворотної послідовності.

Підвищуючі трансформатори, які встановлені на електростанціях, знаходяться в гірших умовах. Застосування на цих трансформаторах максимального струмового захисту в більшості випадків виявляється неможливим через недостатню чутливість останнього при КЗ. на стороні вищої напруги. У цьому випадку величина струму КЗ $I_к$, що проходить через захист (рис. 2.2, *б),* визначається потужністю генераторів електростанції, що порівнюється з потужністю трансформатора, і тому кратність струму КЗ виходить невеликою, а чутливість захисту - недостатньою.

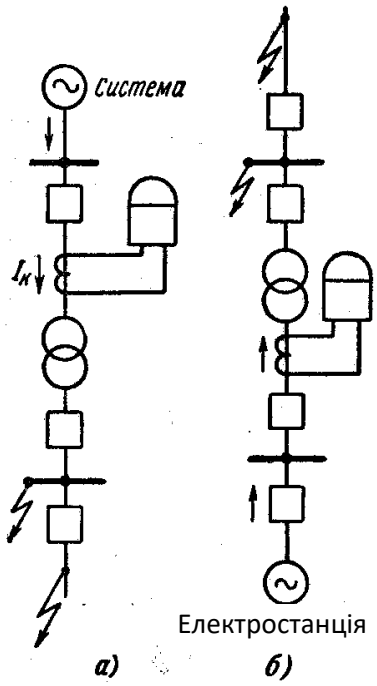



Рисунок 2.2 - Розміщення захисту від надструмів трансформатора:
а – понижуючого; б - підвищуючого

Максимальний струмовий захист від перевантаження відповідно до вимог ПУЕ повинен передбачатися при паралельно працюючих трансформаторах потужністю 400 кВА та більше.

Струмова відсічка є найпростішим швидкодіючим захистом від ушкоджень у трансформаторі, що діє з $t = 0$.

Струм КЗ при ушкодженні на виводах трансформатора з боку джерела живлення (у точці $К_1$ на рис.2.3, а) звичайно значно більший, ніж при ушкодженні за трансформатором (у точці $K_2$). Таке співвідношення струмів і дає можливість використовувати для захисту трансформаторів струмове відсічення миттєвої дії (рис. 2.3, *б*).

Відсічка встановлюється зі сторони живлення трансформатора і виконується за допомогою миттєвих струмових реле чи електромагнітного елемента реле РТ-80, якщо реле цього типу використані для виконання максимального захисту.

Струм спрацьовування відсічення відстроюється від максимального струму короткого замикання при ушкодженні за трансформатором (у точці $K_2$) і обчислюється за виразом:

$$I_{СЗ} = K_{зап} I_{К2 макс}, \qquad (2.1)$$

де $k_{зап}$ - коефіцієнт запасу, який дорівнює 1,25 - 1,5 залежно від точності струмових реле (для реле типу РТ-80 $k_{зап}$ = 1,5).

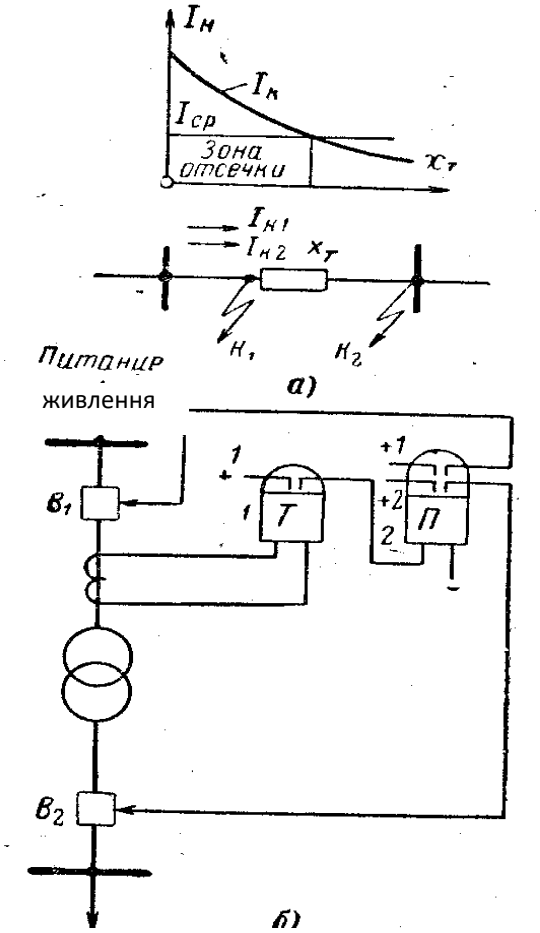



Рисунок 2.3 - Струмове відсічення: а – принцип дії; б – однолінійна схема захисту

Особливістю струмового відсічення трансформатора, в порівнянні з відсіченням ліній, полягає в тому, що захист повинен відстроюватись по стуму спрацювання від підвищення (кидків) намагнічуючого струму. Відомо, що в момент включення трансформатора під напругу його струм намагнічення може досягти 5 - 10 кратного значення номінального струму трансформатора. Струмова відсічка розташовується з боку живлення трансформатора і збільшення (кидок) намагнічуючого струму може викликати її хибне спрацювання.

Для виконання цієї умови струм спрацьовування повинний у 3 - 5 разів перевищувати номінальний струм, трансформатора:

$$I_{СЗ} \geq (3\text{K}\ 5) I_{mНОМ} . \qquad (2.2)$$

У зону дії відсічення входять виводи і частина обмотки трансформатора з боку, де встановлена відсічка. У межах цієї зони відсічка відключає ушкодження без витримки часу.

Оскільки відсічка є захистом від внутрішніх ушкоджень, вона повинна відключати трансформатор з усіх боків, що мають джерела живлення.

Перевагами відсічки є її простота та швидкодія. Недолік полягає в тому, що струмова відсічка захищає тільки частину трансформатора зі сторони його живлення.

Згідно з ПУЕ струмова відсічка повинна застосовуватись в усіх випадках, коли не передбачений диференціальний захист. Допускається встановлювати струмову відсічку на трансформаторах потужністю до 1600 кВА, якщо максимальний струмовий захист трансформатора має витримку часу одна секунда та менше.

Відсічка в сполученні з максимальним захистом і газовим захистом забезпечує надійний захист трансформаторів малої і середньої потужності.

Поздовжній диференціальний захист трансформаторів більш досконалий, ніж струмове відсічення.

Для захисту трансформаторів від КЗ між фазами, на землю і від замикань витків однієї фази широке поширення одержав поздовжній диференціальний захист (рис. 2.4).

Відповідно до принципу дії цього захисту трансформатори струму встановлюються по обидва боки трансформатора. Їхні вторинні обмотки з'єднуються так, щоб при навантаженні і зовнішніх КЗ у реле протікала різниця вторинних струмів $I_р = I_{Iв} - I_{IIв}$ (рис. 2.4, а). Тоді при к.з. у зоні захисту (рис. 2.4,

б) струм у реле дорівнює сумі $I_р = I_{Iв}+I_{IIв}$, якщо $I_р > I_{с.р}$, то реле приходить у дію і відключає трансформатор.

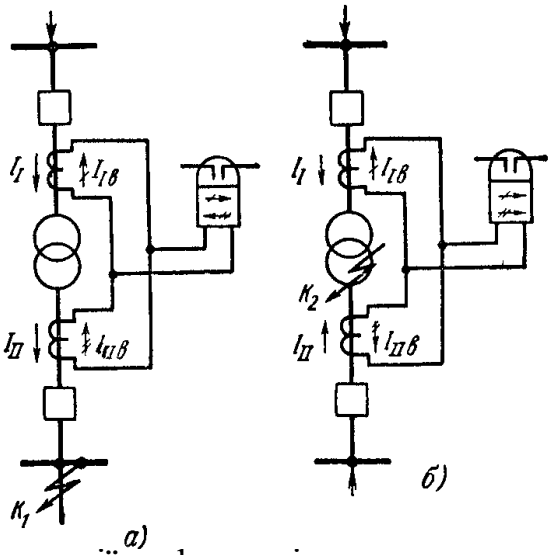



Рисунок 2.4 - Принцип дії диференціального захисту трансформатора: а – зовнішнє КЗ; б – внутрішнє КЗ

У диференціальному захисті ліній і генераторів первинні струми на початку і кінці ділянки, що захищається, однакові, тому для виконання умови селективності досить мати рівність коефіцієнтів трансформації трансформаторів струму. Інше положення має місце в диференціальному захисті трансформаторів.

Для захисту потужних силових трансформаторів від внутрішніх пошкоджень застосовується поздовжній диференціальний струмовий захист, робота якого, порівняно з диференціальним струмовим захистом ліній та генераторів, значною мірою ускладнюється за рахунок специфічних особливостей трансформаторів, які впливають на величину струмів небалансу.

Основна перевага диференціальних захистів трансформаторів полягає в тому, що вони забезпечують швидке і селективне відключення ушкоджень, і як у самому трансформаторі, так і на його виводах і в струмоведучих частинах до його вимикачів.

### 2.2.2 Застосування пристроїв релейного захисту та автоматики для живлячих ліній

У сучасних електросистемах для збереження стійкості паралельної роботи генераторів потрібне вимикання КЗ без витримки часу. Максимальний струмовий захист не швидкодіючий, а струмові відсічки не можуть використовуватись як основний захист відповідних ліній системи, тому що зона їх дії не поширюється на всю довжину лінії та значною мірою залежить від режиму роботи системи.

У цих випадках використовується диференціальний захист струмів, що забезпечує вимикання КЗ без витримки часу і в межах всієї лінії захищається. Цей захист має абсолютну селективність, тобто спрацьовує при КЗ лише в межах зони, що захищається і тому не узгоджується з іншими видами захисту систем.

Диференціальний захист заснований на принципі порівняння струмів у двох точках елемента електроустановки, який захищається.

В залежності від вибору місця точок порівняння струмів розрізняють два види диференціального захисту ліній:

- подовжній, заснований на порівнянні струмів на початку та в кінці лінії, яка захищається;

- поперечний, в якому порівнюються струми одного кінця двох паралельних ліній.




Рисунок 2.5 - Струми на кінцях лінії:
а — при зовнішніх КЗ: б — при КЗ на лінії

Зіставляючи величину і фазу струмів можна визначати, де виникло КЗ - на лінії чи за її межами. Таке порівняння струмів по величині і фазі здійснюється в реагуючому органі (реле) диференціального захисту.

Переваги:

- принцип дії захисту простий і надійний;
- захист не реагує на хитання і перевантаження;

- без витримки часу при короткому замиканні в будь-якій точці лінії (тобто швидкодія);
- селективність дії в мережах будь-якої конфігурації;
- висока чутливість;
- відсутність мертвих зон;
- не узгоджується із захистом суміжних елементів.

До недоліків захисту варто віднести високу вартість сполучного кабелю і робіт по його прокладці, а також можливість помилкової роботи при ушкодженні сполучних проводів.

Дуже широко поздовжній вид захисту використовується для генераторів, трансформаторів та інших елементів електричних систем, тому що в цьому випадку відпадають ускладнення в прокладанні сполучених проводів.

Поперечні диференціальні захисти застосовуються на паралельних лініях. Завдяки рівності опорів ліній у нормальному режимі і при зовнішньому КЗ струми в них рівні по величині і фазі ($I_I = I_{II}$) (рис.2.6,а).

У випадку виникнення КЗ на одній з ліній рівність струмів порушується. На живлячому кінці лінії струми $I_I$ і $I_{II}$ збігаються по фазі, але розрізняються по величині, а на прийомному кінці протилежні по фазі, що випливає з струморозподілу, приведеного на рис.2.6, б.

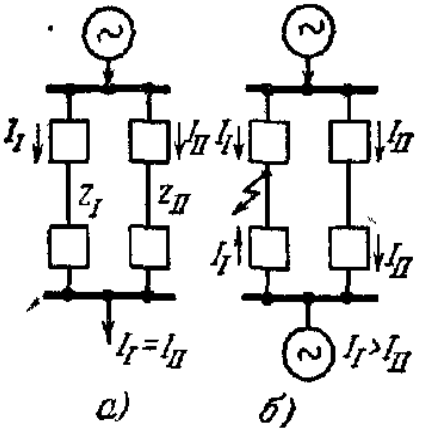



Рисунок 2.6 - Розподіл струмів у паралельних лініях: а – при нормальному навантаженні; б – при КЗ на одній лінії

Поперечні диференціальні захисти застосовуються двох видів:

а) на паралельних лініях, включених під один загальний вимикач - струмовий поперечний диференціальний захист;

б) на паралельних лініях із самостійними вимикачами – спрямований поперечний диференціальний захист.

**Дистанційним називається захист, витримка часу якого автоматично змінюється залежно від віддаленості місця КЗ від місця встановлення захисту.**

Реле опору можуть виконуватися реагуючими на повний опір лінії $z=\sqrt{r^2+x^2}$ або на її індуктивний (реактивний) опір *x.* Відповідно до цього реле називають реле повного опору або реле реактивного опору . Широко використовуються реле повного опору.

Виконання захистів на дистанційному принципі має цілий ряд істотних переваг, що сприяли широкому застосуванню цих захистів в електричних мережах високої і надвисокої напруги.

Головними перевагами дистанційного захисту є:

а) селективність дії в мережах будь-якої конфігурації з будь-яким числом джерел живлення;

б) малі витримки часу на початку ділянки, що захищається, що забезпечуються першою зоною, що охоплює до 85—90% лінії, що захищається;

в) значно більша чутливість при КЗ і краща відстройка від навантаження і хитань, у порівнянні з струмовими максимальними захистами.

До недоліків дистанційних захистів варто віднести:

а) складність захисту, як у частині схеми, так і в частині вхідних до її складу реле;

б) неможливість забезпечення миттєвого відключення КЗ у межах усієї лінії, що захищається;

в) реагують на хитання і навантаження;

г) можливість помилкової роботи при несправностях у ланцюгах напруги, що зменшує їхню надійність і викликає необхідність застосування відповідного блокування.

Незважаючи на зазначені недоліки, дистанційний захист є поки найбільш досконалим резервним захистом від міжфазних КЗ і досить швидкодіючим захистом для високовольтних мереж 110 і 220 кВ, де він з успіхом використовується як основний захист на лініях середньої і великої довжини.

## Висновки за другим розділом

Таким чином, в даному розділі були розглянуті такі типи релейного захисту: максимальний струмовий захист, струмова відсічка, диференціальний і дистанційний захисти. Також розглянуті можливості застосування пристроїв релейного захисту та автоматики для живлячих ліній [2].

# 3. ВИБІР РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ГОЛОВНОЇ ПОНИЖУЮЧОЇ ПІДСТАНЦІЇ І ЛІНІЇ ЖИВЛЕННЯ ТА РОЗРАХУНОК ЇХ УСТАВОК

## 3.1. Розрахунки струмів КЗ в живильній і розподільній мережі промислового підприємства

Для визначення періодичної складової струму трифазного КЗ складається схема заміщення, яка включає в себе елементи, пов'язані тільки з першою секцією шин 6,3 кВ головної понижуючої підстанції підприємства (ГПП). Секційний вимикач СВ відключений; склад і потужність навантаження, підключеного до другої секції ГПП, аналогічні. Згідно з вихідними даними потужність КЗ на шинах 37 кВ в максимальному режимі $S^{(3)}_{к.макс} = 500MBA$, в мінімальному режимі - $S^{(3)}_{к.мін} = 450MBA$, тип трансформатора Т1 ТД-10000/35; 16МВА; $(35 \pm 9\%)кВ$ /6,3кВ; $U_{к.ср} = 7{,}5\%$; $U_{к.мін} = 7\%$; $U_{к.макс} = 8{,}6\%$. Дані трансформатора Т2: ТМ-250/10, Sном= 250 кВА, Uном= 6/0,4 кВ, $U_{к.мін} = 6{,}5\%$. Довжина живлячої лінії W1 складає 20 км, марка проводу АС-70, питомий опір r = 0,46 Ом/км, Х = 0,32 Ом/км.

Опір системи визначається по заданим потужностям КЗ на шинах 37кВ живлячої підстанції в максимальному і мінімальному режимах:

$$X_{1макс} = X_{с.макс} = \frac{U_1^2}{S^{(3)}_{к.макс}} = \frac{37^2}{500} = 2{,}74Ом; \quad (3.1)$$

$$X_{1мін} = X_{с.мін} = \frac{U_1^2}{S^{(3)}_{к.мін}} = \frac{37^2}{450} = 3{,}05Ом. \quad (3.2)$$

Де U1 – напруга ступеня 37кВ;

$$X_2 = X_{W1} = X_{02} I_{02} = 0{,}32 * 20 = 6{,}4Ом; \quad (3.3)$$

$$r_2 = r_{W1} = r_{02} I_{02} = 0{,}46 * 20 = 9{,}2Ом; \quad (3.4)$$

$$X_3 = X_{T1} = \frac{U_{к.з}\%}{100} * \frac{U_1^2}{S_{ном.з}} = \frac{7{,}5}{100} * \frac{37^2}{10} = 10{,}3Ом. \quad (3.5)$$

Визначаються струми трифазного КЗ в максимальному режимі роботи живлячої енергосистеми:

КЗ в точці К1:

$$I_{КЗ}^{(3)} = \frac{S_{к.макс}^{(3)}}{\sqrt{3} * U_1} = \frac{500}{\sqrt{3} * 37} = 7{,}8кА; \quad (3.6)$$

КЗ в точці К2:

визначається результуючий опір до точки К2,

$$X_{22} = X_1 + X_2 = 2{,}74 + 6{,}4 = 9{,}14Ом; \quad (3.7)$$

$$r_{22} = r_2 = 9{,}2Ом;$$

$$Z_{22} = \sqrt{r_{22}{}^2 + X_{22}{}^2} = \sqrt{9{,}2^2 + 9{,}14^2} = 13Ом; \quad (3.8)$$

$$I_{К2}^{(3)} = \frac{U_1}{\sqrt{3} * Z_{22}} = \frac{37}{\sqrt{3} * 13} = 1{,}65кА; \quad (3.9)$$

КЗ в точці К3:

$$X_{23} = X_{22} + X_3 = 9{,}14 + +10{,}3 = 19{,}44Ом; \quad (3.10)$$

$$r_{23} = r_{22} = 9{,}2Ом;$$

$$Z_{23} = \sqrt{9{,}2^2 + 19{,}44^2} = 21{,}6Ом;$$

Перераховується опір $Z_{23}$ для напруги $U_2 = 6{,}3кВ$:

$$Z_{23} = Z_{23} * \frac{(U_2)^2}{(U_1)^2} = (9{,}2 + j19{,}44) * \frac{(6{,}3)^2}{(37)^2} = 0{,}27 + j0{,}56 = 0{,}63Ом; \quad (3.11)$$

$$I_{КЗ}^{(3)} = \frac{U_2}{\sqrt{3} * Z_{23}} = \frac{6{,}3}{\sqrt{3} * 0{,}63} = 5{,}78кА$$

### 3.2 Захист трансформаторів і автотрансформаторів

Для захисту трансформатора Т1 ГПП (рис. 1) передбачаються поздовжній диференціальний захист, газовий захист, максимальний струмовий захист і захист від перевантаження.

**Диференціальний захист.** Диференціальний захист є основним, швидкодіючим захистом при пошкодженнях обмоток, вводів і ошиновок трансформаторів. Згідно “Управляючим вказівкам по релейному захисту”, його встановлення обов’язкове на поодинокопрацюючих трансформаторах потужністю 6300 кВАі вище, і трансформаторах потужністю 4000 кВА і вище,увімкнених на паралельну роботу.

Дифзахист може встановлюватися і на тарнсформаторах меншої потужності (з S ≥ 1000кВА), якщо струмовавідсічка не проходить по чутливості, а МСЗ має час спрацювання більше 1с.

Для трансформатора Т1 можливе застосування 3 варіантів дифзахисту:

- диференціальна відсічка з реле РТ-40 чи РТМ;
- дифзахист з пристроєм РНТ;
- дифзахист з гальмуванням типу ДЗТ.

Вибір одного з цих варіантів проводиться на основі розрахункукоефіцієнта чутливості захисту ($K_{Ч.ДОП} \geq 2$).

Для розрахунку захисту трансформаторів і автотрансформаторів для сторони 35 кВ використовуються такі дані : первинний номінальний струм трансформатора $10000 / (\sqrt{3} * 35) = 165 A$, коефіцієнт трансформації трансформатора струму 300/5, схема з’єднання обмоток трансформаторів струму *n*, вторинний струм в плечах захист $165 * \sqrt{3} / 60 = 4,76 A$. Для сторони $6,3$ кВ : первинний номінальний струм трансформатора $10000 / (\sqrt{3} * 6,3) = 920 A$, коефіцієнт трансформації трансформатора струму 1000/5, схема з’єднання обмоток трансформаторів струмуY, вторинний струм в плечах захисту $920 * 1 / 200 = 4,6 A$.

Можливість застосуваня диференціальної відсічки визначається за струмом спрацювання, який знаходиться з умов:

а) відстройка від кидків струму намагнічуваня трансформатора:

$$I_{с.з} > K_{отс} * I_{ном.Т1}, \quad (3.12)$$

де $K_{отс}$ =4…5 (РТ-40, РТМ); $I_{с.з}$>4*165=660А;

б) відстройка від струму небалансу $I_{нб}$:

$$I_{с.з} > K_{отс} * I_{нб}; \quad (3.13)$$

де $K_{отс}$=1,3 (при використанні в якості реагуючого органу реле РТ-40);

$$I_{нб} = I'_{нб} + I''_{нб} + I'''_{нб}, \quad (3.14)$$

де $I'_{нб}$ - складова, обумовлена похибкою трансформаторів струму

$$I'_{нб} = K_а * K_о * \varepsilon * I^{(3)}_{к.з}, \quad (3.15)$$

де $K_а$ - коефіцієнт, що враховує вплив аперіодичної складової в струмі КЗ; $K_а$=2 – при використанні диференціальної відсічки; $K_о$ - коефіцієнт однотипності; $K_о$=1 – в плечах захисту встановлюються трансформатори струму різного типу; $K_о$=0,5 – для трансформаторів струму плеч захисту одного типу; $\varepsilon$=0,1 – коефіцієнт, що враховує допустиму відносну похибку трансформаторів струму; $I^{(3)}_{к.з}$ - струм трифазного КЗ на виводах силового трансформатора зі сторони навантаження;

$$I^{(3)}_{к.з} = 5780 * (6,3/37) = 984 A$$

$$I'_{нб} = 2 * 1 * 0,1 * 984 = 197 A$$

$I'''_{нб}$ - складова, обумовлена регулюванням напруги трансформатора, що захищається;

$$I_{нб}''' = \Delta U * I_{кз}^{(3)}, \qquad (3.16)$$

де $\Delta U = 0{,}09$ - половина діапазону регулювання напруги у відносних одиницях.

$$I_{нб}''' = 0{,}09 * 984 = 89A;$$

$I_{нб}''''$ - складова, обумовлена неточністю вирівнювання струмів в плечах захисту.

При відсутності спеціальних пристроїв вирівнювання

$$I_{нб}'''' = (I_{1B} - I_{2B}) * I_{КЗ}^{(3)} / I_{1B}, \qquad (3.17)$$

де $I_{1B} = 4{,}76A$, $I_{2B} = 4{,}6A$ - вторинні струми в плечах дифзахисту;

$$I_{нб}'''' = (4{,}76 - 4{,}6) * 984 / 4{,}76 \approx 33A.$$

$$I_{нб} = 197 + 89 + 33 = 319A.$$

$$I_{с.з} \geq 1{,}3 * 319 = 415A.$$

Приймається уставка $I_{с.з} = 660A$

Струм спрацювання реле $I_{с.р} = I_{с.з} * K_{СХ} / n_{ТА}, \qquad (3.18)$

де $K_{СХ}$ - коефіцієнт схеми; $K_{СХ} = \sqrt{3}$ - для схеми з'єднання обмоток трансформаторів струму трикутником; $n_{ТА} = 300/5$ - коефіцієнт трансформації трансформаторів струму зі сторони 35кВ; $I_{с.р} = 660 * \sqrt{3} / 60 = 19A$;

Коефіцієнт чутивості диференціальної відсічки визначається по мінімальному вторинному струмі $I_{р.мін}$, що проходить по обмотках реле придвофазному КЗ за трансформатором зі схемою з'єднання обмоток Y/Δ-11 (Рис. 3.1). У відповідності зі струморозподіленням в колах захисту

$$I_{р.мін} = 1{,}5 * I_{КЗ}^{(3)} / n_{ТА};\ I_{р.мін} = 1{,}5 * 984 / 60 = 24{,}6A$$

$$K_{Ч}^{(2)} = I_{р.мін} / I_{с.р} = 24{,}6 / 19 = 1{,}3 < K_{Ч.ДОП} = 2$$

Тобто, диференціальна відсічка не проходить за чутливістю.

Перевіряємо можливість використання дифзахисту з пристроєм РНТ:

а) попередньо визначається, без урахування $I_{нб}^{'''}$ , значення струму спрацювання захисту по умові відстроювання від струму небалансу

$$I_{с.з} = K_{ОТС} * (I_{нб}^{'} + I_{нб}^{''}), \qquad (3.19)$$

де $K_{ОТС} = 1{,}3$ - при використанні пристроїв реле напруги (РНТ);

$K_{ОТС} = 1{,}5$ - для дифзахисту з пристроєм диференціального струмового захисту (ДЗТ).

$$I_{нб}^{'} = K_{а} * K_{о} * \varepsilon * I_{КЗ}^{(3)},$$

$$I_{с.з} = K_{ОТС} * (I_{нб}^{'} + I_{нб}^{''}),$$

де $K_{ОТС} = 1{,}3$ - при використанні пристроїв РНТ;

$K_{ОТС} = 1{,}5$ - для дифзахисту з пристроєм ДЗТ.

$$I_{нб}^{'} = K_{а} * K_{о} * \varepsilon * I_{КЗ}^{(3)},$$

де $K_{а} = 1$ (при наявності пристрою РНТ або ДЗТ);

$$I_{нб}^{'} = 1 * 1 * 0{,}1 * 984 = 98A$$

$$I_{нб}^{''} = 89A$$

$$I_{с.з} = 1{,}3 * (98 + 89) = 243A;$$

б) по умові відстройки від кидків струму намагнічування трансформатора

$$I_{с.з} = K_{ОТС} * I'_{номТ1},$$

де $K_{ОТС} = 1{,}3$ (РНТ)

Попередньо приймається $I_{с.з} = 243A$;

$$I_{с.р} = I_{с.з} * K_{СХ} / n_{ТА} = 243 * \sqrt{3} / 60 = 7A$$

Чутливість захисту при двофазному КЗ на виводах трансформатора зі сторони навантаження

$$K_Ч^{(2)} = I_{р.мін} / I_{с.р},$$

де $I_{р.мін} = 24{,}6A$ (рис. 3.1).

$$K_Ч^{(2)} == 24{,}6 / 7 = 3{,}51 > K_{Ч.ДОП} = 2$$

Таким чином, приймається варіант дифзахисту з пристроєм РНТ.

В якості основної обмотки вказаного пристрою (зі сторони 35 кВ) врівноважуючи обмотка У1, а інша врівноважуючи обмотка У2 застосовується для вирівнювання струмів в плечах захисту.

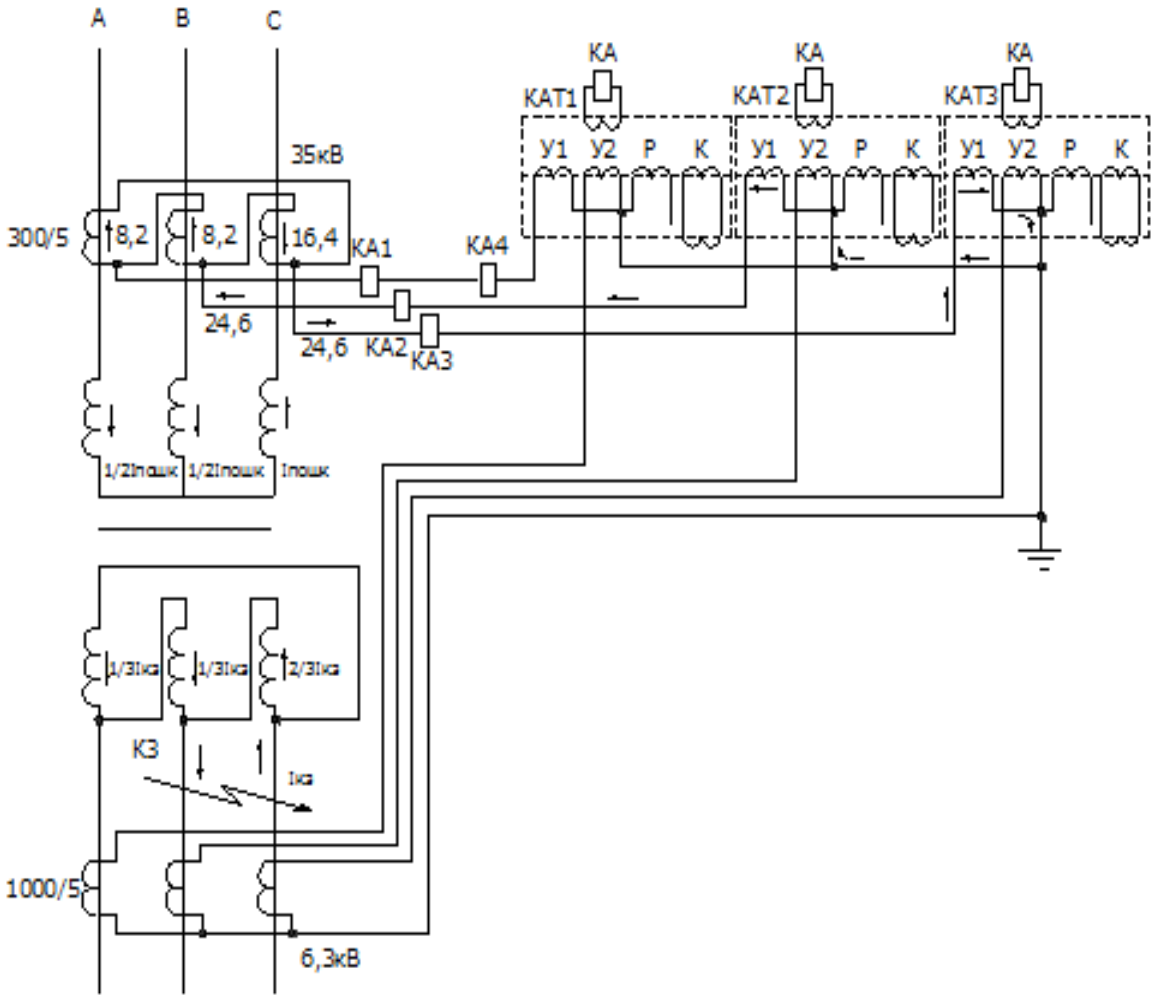



Рисунок 3.1 - Розподіл струмів для дифзахисту трансформатора при двофазному КЗ в точці К3.

Визначається розрахункове значення витків основної обмотки по виразу

$$W_{осн.розр} = W_{У1розр} = F_{с.р} / I_{с.р}, \qquad (3.20)$$

де $F_{с.р} = 100A$ - м.д.с, необхідна для спрацювання реле типу РНТ-565.

$$W_{осн.розр} = W_{У1розр} = 100/7 = 14{,}3$$

Приймається найближче ціле значення витків

$$W_{осн.} = W_{У1} = 14;\ I_{с.р..осн} = 7{,}15A.$$

Число витків врівноважуючої обмотки У2 визначається з умови рівності нулю результуючої м.д.с.:

$$I_{1B} * W_{У1} - I_{2B} * W_{У2} = 0;$$

$$W_{неосн.розр} = W_{У2розр} = (I_{1B} * W_{У1}) / I_{2B} = (4{,}76 * 14) / 4{,}6 = 14{,}5.$$

Приймається $W_{неосн.} = W_{У2} = 14$.

Проводиться уточнення розрахунку з визначенням складової $I''_{нб}$;

$$I''_{нб} = \frac{W_{неосн.розр.} - W_{неосн}}{W_{неосн.розр}} * I_{КЗ}^{(3)} = \frac{14{,}5 - 14}{14{,}5} * 984 = 34A \qquad (3.21)$$

$$I_{нб} = 98 + 89 + 34 = 220A,$$

$$I_{с.з} = 1{,}3 * 220 = 286A;\ I_{с.р} = 286 * \sqrt{3} / 60 = 8{,}25A$$

$$K_{Ч}^{(2)} == 24{,}6 / 8{,}25 = 2{,}98 > K_{Ч.ДОП} = 2.$$

$$W_{осн.розр} = 100 / 8{,}25 = 12{,}1;\ W_{осн.} = W_{У1} = 12,$$

$$I_{с.р..осн} = 100 / 12 = 8{,}35A;\ I_{с.з} = 8{,}35 * 60 / \sqrt{3} = 290A;$$

$$W_{У2} = (4{,}76 * 12) / 4{,}6 = 12{,}4.\ W_{У2} = 12.$$

$$I''_{нб} = \frac{12{,}4 - 12}{12{,}4} * 984 = 32A;\ I_{нб} = 98 + 89 + 32 = 218A.$$

$$I_{с.з} = 1{,}3 * 218 = 283A < 290A.$$

Приймається

$$W_{осн.} = W_{У1} = 12;\ W_{неосн.} = W_{У2} = 12.$$

Перевірка: $I_{1B} * W_{У1} = I_{2B} * W_{У2}$;

$$4{,}76 * 12 \approx 4{,}6 * 12,$$

$$57{,}1 \approx 56{,}3.$$

В якості трансформатора Т1 приймається варіант дифзахисту з комплектом ДЗТ-11, що має одну гальмівну обмотку. При односторонньому живленні трансформатора гальмівна обмотка Т (рис. 3.2) вмикається в плече захисту зі сторони навантаження, що дозволяє виключити вплив магнітного гальмування при КЗ в зоні дії дифзахисту.

Струм спрацювання захисту вибирається тільки по умові відстроювання від кидків струму намагнічування:

$$I_{с.з} = K_{ОТС} * I'_{номТР},$$

де $K_{ОТС} = 1{,}5$ (для ДЗТ); $I_{с.з} = 1{,}5 * 165 = 248 A$;

$$I_{с.р} = I_{с.з} * K_{СХ} / n_{ТА} = 248 * \sqrt{3} / 60 = 7{,}15 A.$$

$$K_{Ч}^{(2)} = I_{р.мін} / I_{с.р} = 24{,}6 / 7{,}15 = 3{,}44 > 2.$$

Числа витків обмоток ДЗТ для вирівнювання м.д.с. визначаються аналогічно тому, як це виконувалось для реле РНТ:

$$W_{осн.розр} = W_{У1розр} = F_{с.р} / I_{с.р} = 100 / 7{,}15 = 14;\ W_{У1} = 14.$$

$$I_{1В} * W_{У1} - I_{2В} * W_{У2} = 0;$$

$$W_{неосн.розр} = W_{У2розр} = (I_{1В} * W_{У1}) / I_{2В} = (4{,}76 * 14) / 4{,}6 = 14{,}5$$

$$I''_{нб} = \frac{14{,}5 - 14}{14{,}5} * 984 = 34 A$$

$$I_{нб} = 98 + 89 + 34 = 220 A$$

Приймається

$$W_{осн.} = W_{У1} = 14;\ W_{неосн.} = W_{У2} = 14.$$

Перевірка: $I_{1В} * W_{У1} = I_{2В} * W_{У2}$;

$$4{,}76 * 14 \approx 4{,}6 * 14\,,$$

$$66{,}5 \approx 64{,}5\,.$$

Необхідна кількість витків гальмівної обмотки пристрою ДЗТ-11 визначається при розрахунковому зовнішньому КЗ зі сторони навантаження $I_{к.з}^{(3)}$ по виразу:

$$W_Г > K_{ОТС} * I_{нб} * W_р /(I_{К.МАКС.ВН} * tg\alpha)\,,$$

де $K_{ОТС} = 1{,}5$; $I_{нб}$ - струм небалансу до сторонни НН за допомогою найменшого значення коефіцієнта трансформації трансформатора, що відповідає крайньому “негативному” положенню регулятора РПН, при якому визначається максимальне значення струму КЗ:

$$I_{нб} = 220 * (U_{мін.ВН} / U_{НН}) = 220 * (31{,}85 / 6{,}3) = 1112 A\,,$$

де $U_{мін.ВН} = 31{,}85 кВ$;

$W_р$ - розрахункове число витків робочої обмотки реле на стороні,

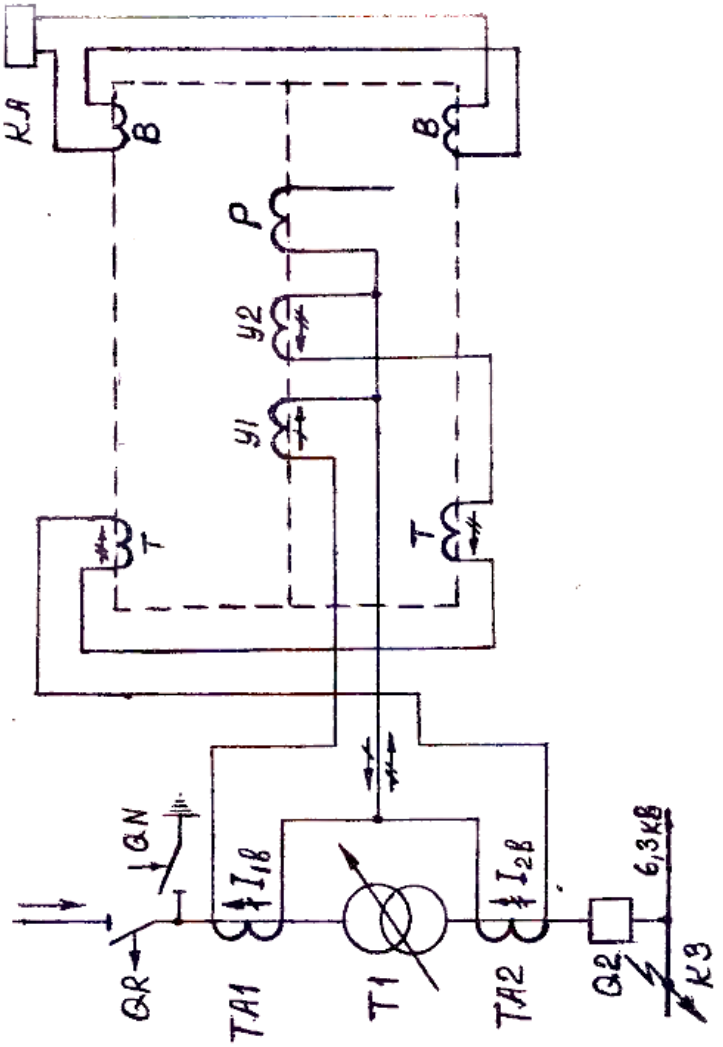



Рисунок 3.2 - Схема дифзахисту трансформатора з пристроєм ДЗТ

де підключена гальмівна обмотка,

$$W_p = W_{У2\,розр} = 14{,}5;$$

$$I_{К.МАКС.ВН} = I_{КЗ}^{(3)} = 5780\,A;$$

$tg\alpha$ - тангенс кута нахилу до осі абцис дотику, проведеної з початку координат до гальмівної характеристики реле ДЗТ, що відповідає мінімальному гальмуванню; для пристрою ДЗТ-11

$$tg\alpha = 0{,}75...0{,}8$$

$$W_Г = 1{,}5 * 1112 * 14{,}5/(5780 * 0{,}77) = 5{,}43$$

(на гальмівній обмотці ДЗТ-11 можуть бути встановлені числа витків: 1,3,5,7,9,11,13,18,24). Приймається найближче більше число витків $W_Г = 7$.

**Газовий захист**. Приймається до установки на трансформаторі Т1 реле РГЧЗ-66 з чашкоподібними елементами. При слабкому газоутворенні захист діє на сигнал, при інтенсивному – на відключення.

**Максимальний струмовий захист**. Для захисту трансформатора Т1 від струмів зовнішніх КЗ і резервування роботи основного диференціального захисту і захистів приєднань ГПП - 6,3 кВ передбачається максимальний струмовий захист (МСЗ). МСЗ виконується по схемі трикутника з трьома реле РТ-40 і двома ступенями витримки часу.

Струм МСЗ вибирається:

а) по умові недії захисту при спрацюванні автоматичного вимкнення резерву (АВР) секційного вимикача на стороні 6,3 кВ ГПП;

$$I_{с.з} = K_{ОТС} * (I_{роб.макс.1С} + K_{СЗП} * I_{роб.макс.2С}), \qquad (3.22)$$

де $K_{ОТС} = 1{,}1 ... 1{,}2$;

$I_{роб.макс.1С}$ - максимальний струм навантаження першої секції шин 6,3 кВ ГПП (на стороні 35 кВ трансформатора);

$$I_{роб.макс.1С} = I_{роб.макс.2С} = 555 * \frac{6{,}3}{35} = 100 A;$$

$$K_{СЗП} = 2{,}22;\ I_{с.з} = 1{,}1 * (100 + 2{,}22 * 100) = 354 A;$$

б) по умові узгодження з МСЗ секційного вимикача

$$I_{с.з} = K_{Н.С} * I_{с.з.СВ},$$

де $K_{Н.С} = 1{,}3$;

$$I_{с.з} = 1420 * \frac{6,3}{35} = 256A;$$

$$I_{с.з} = 1,3 * 256 = 333A$$

Приймається уставка $I_{с.з} = 354A$

$$I_{с.р} = I_{с.з} * K_{СХ} / n_{ТА} = 354 * \sqrt{3} / 60 = 10,2A$$

Перевіряється чутливість МСЗ трансформатора Т1:

а) в основній зоні по струму двофазного КЗ на виводах трансформатора зі сторони навантаження

$$K^{(2)}_{Ч.осн} = I_{р.мін} / I_{с.р},$$

де $I_{р.мін} = 24,6A$

$$K^{(2)}_{Ч} = 24,6 / 10,2 = 2,4 > 1,5$$

Одночасно МСЗ трансформатора забезпечує захист при КЗ на збірних шинах 6,3 кВ ГПП;

б) в зоні далекого резервування – при КЗ в кінці кабельної магістралі “W5-W6” :

$$K^{(2)}_{ч.рез} = I^{'}_{р.мін} / I_{с.р},$$

де $I^{'}_{р.мін} = 1,5 * I^{(3)}_{К12} * \frac{6,3}{37 * n_{ТА}} \frac{1,5 * 3100 * 6,3}{37 * 60} = 13,2A,$

де $I^{(3)}_{К12} = 3,1кА;$

$n_{ТА} = 300 / 5;$

$K^{(2)}_{ч.рез} = 13,2 / 10,2 = 1,3 > 1,2;$

При КЗ в кінці повітряної лінії “W2-W3”

$$I''_{р.мін} = 1{,}5 * I^{(3)}_{К6} * \frac{6{,}3}{37 * n_{ТА}} \frac{1{,}5 * 1000 * 6{,}3}{37 * 60} = 4{,}3А,$$

де $I^{(3)}_{К12} = 1кА$;

$K^{(2)}_{ч.рез} = 4{,}3 / 10{,}2 = 0{,}42 > 1{,}2$

Для підвищення чутливості МСЗ трансформатора доповнюється комбінованим пусковим органом напруги. Цей орган живиться від трансформатора напруги, підключеного до шин 6,3 кВ ГПП. Тому уставки, що виставляються на реле KV і KVZ зберігаться при значеннях:

$U_{С.KV} = 55В$; $U_{С.KVZ} = 6В$.

Струм спрацювання захисту, що запускається органом напруги визначається по умові а) $K_{СЗП} = 1$;

$I_{С.З} = K_{ОТС} * (I_{роб.макс.1с} + I_{роб.макс.2с}) = 1{,}1 * 2 * 100 = 220А$;

по умові б) $I_{С.З} = 333А$,

приймається уставка $I_{С.З} = 333А$,

$$I_{с.р} = 333 * \sqrt{3} / 60 = 9{,}6А,$$

$$K^{(2)}_{Ч.осн} = 24{,}6 / 9{,}6 = 2{,}56 > 1{,}5.$$

Покращуються і умови далекого резервування.

Час спрацювання першого ступеню МСЗ трансформатора Т1, що діє на відключення вимикача Q2, приймається на ступінь селективності Δt=0,4 с (узгоджуються захисти з незалежними характеристиками) більше часу спрацювання МСЗ секційного вимикача Q3

$$t'_{C.З} = t_{C.B} + \Delta t\ ,$$

де $t_{C.B} = 1{,}8c$

$$t'_{C.З} = 1{,}8 + 0{,}4 = 2{,}2c\ .$$

Для другого ступеню захисту, що подає імпульс на спрацювання короткозамикача QN

$$t''_{C.З} = t_{C.B} + \Delta t = 2{,}2 + 0{,}4 = 2{,}6c$$

Для МСЗ трансформатора Т1 приймається:

$I_{C.З} = 333A$; $I_{с.р} = 9{,}6A$; $U_{C.KV} = 55B$;

$U_{C.KVZ} = 6B$; $t'_{C.З} = 2{,}2c$; $t''_{C.З} = 2{,}6c$.

**Захист від перевантаження.** Якщо по умовам технології виробництва можливе перевантаження трансформатора, то застосовується захист від перевантаження. Він виконується з одним реле, включеним на струм фази з боку джерела живлення, і діє з витримкою часу на сигнал, а на необслуговуємих підстанціях – на розвантаження чи відключення трансформатора. Схема захисту від перевантаження суміщена зі схемами дифзахисту і МСЗ трансформатора Т1 (рис. 3.1, реле КА4).

Струм спрацювання

$$I_{C.З} = K_{ОТС} * I_{ном.Т1} / K_B\ ,$$

де $K_{ОТС} = 1{,}05$; $I_{ном.Т1} = 165A$;

$K_B = 0{,}8$ (реле РТ-40);

$I_{C.З} = 1{,}05 * 165 / 0{,}8 = 217A$;

$I_{C.P} = I_{C.З} * K_{СХ} / n_{TA} = 217 * \sqrt{3} / 60 = 6{,}3A$;

$t_{С.З} = t^{*}_{С.З} + \Delta t = 2,6 + 0,4 = 3,0c$ .

## Висновки по третьому розділу

Таким чином, у даному розділі були здійснені розрахунки струмів КЗ в живильній і розподільній мережі промислового підприємства, а також захист трансформаторів і автотрансформаторів, що передбачає поздовжній диференціальний захист, газовий захист, максимальний струмовий захист і захист від перевантаження.

# ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Були проаналізовані можливості застосування в якості захисту трансформаторів в роботі поздовжній диференціальний захист, газовий захист, максимальний струмовий захист і захист від перевантаження.

Після проведення розрахунків було визначено, що струм короткого замикання дорівнює 7,8 кА і 1,65 кА в точках К1 і К2 відповідно. Також за результатами розрахунків була встановлена неможливість застосування диференціальної відсічки в трансформаторі з боку 35кВ. Вибір дифзахисту у цьому випадку було зупинено на реле з насичуючим трансформатором (РНТ). В якості газового захисту був прийнятий до установки на трансформаторі Т1 варіант з реле РГЧЗ-66 з чашкоподібними елементами.

Для МСЗ трансформатора Т1 приймаються уставки: струму спрацювання захисту - 333А, реле – 9,6А, реле KV і KVZ 55В і 6В відповідно, стуми спрацювання першого і другого ступенів – 2,2с і 2,6с.

Розрахунок простої і комбінованої струмових відсічок для лінії живлення показав неможливість їх застосування в якості основного захисту, тому перевага у виборі була віддана двоступінчатому струмовому захисту з простою струмовою відсічкою і МСЗ, що виконується по схемі повної зірки з реле РТ-40. Також для лінії живлення приймається типовий пристрій РПВ–1 одноразової дії з часом спрацювання $t_{а\ п\ в1} = 0,8$ с.

# СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Улаштування електроустановок./ Наказ Міненерговугілля України від 21.07.2017 № 476

2. Ю.Ф. Романюк. Електричні мережі та системи. Навчальний підручник. – Київ: “Знання”, 2007. – 292 с.

**3.** Лисяк В.Г. Оптимальні режими вузлів навантаження електропостачальних систем. Навчальний посібник,–Львів: “ННІ” 2007. – 251 с.

4. П.М. Монтік Електротехніка та електромеханіка. Навчальний посібник – Львів: “Новий Світ”, 2011. – 487 с.

5. Електричні мережі та системи.: Навч. посібник для студ. електроенерг. спец. / М. С. Сегеда; Державний ун-т "Львівська політехніка". - Л.: Каменяр, 1999. - 296 с. - Бібліогр.: с.292-296. - ISBN 5-7745-0766-1

6. Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни "Проектування електричних систем": для студ. спец. 7.090602 "Електричні системи і мережі" / Вінницький держ. технічний ун-т; уклад. Ж. І. Остапчук. - Вінниця: [б.в.], 1998. - 46 с.

7. Автоматика електроенергетичних систем. Практикум з дисципліни "Релейний захист та системна автоматика": Навч. посіб. для студ. спец. "Електричні мережі та системи"/О. Є. Рубаненко; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 1999. - 63 с.

8. Релейний захист та автоматика в електроенергетиці: Навч. посіб. для студ. спец. "Электрична частина електричних станцій", "Електричні мережі та системи", "Електротехнічні системи та системи електроспоживання" / В. М. Кутін [та ін]; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2001. - 104 с.

9. Методичні вказівки до вибору схем розподільних пристроїв підстанцій напругою 35-750 кВ з курсу "Електричні системи та мережі" для студентів спеціальності "Електричні системи та мережі"/ Національний технічний ун-т "Харківський політехнічний ін-т"; уклад. В. П. Волков. - Х.: НТУ "ХПІ", 2001. - 19 с.

10. Конструкції повітряних ліній електропередачі. Курсове проектування: навч. посібник для студ. спец. 7.090602 "Електричні системи і мережі" / М. О. Головатюк; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2001. - 107 с.: рис. - Бібліогр.: с. 106-107

11. Експлуатація повітряних ліній електропередачі: навч. посіб. для студ. спец. 7.090602 "Електричні системи і мережі" / М. О. Головатюк; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2001. - 129 с.: рис. - Бібліогр.: с. 129

12. Електромонтажні роботи. Електричні мережі до 1000 В: Навч. посібник для студ. електротехн. спец. з дисципліни "Робоча професія" / О. Д. Демов [і др.]; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2002. - 55 с.

13. Електричні системи та мережі [Текст]: методичні вказівки до виконання курсового проекту для студ. спец. 7.090603 "Електротехнічні системи електроспоживання" денної та заоч. форм навчання / Національний ун-т харчових технологій; уклад. С. Є. Вакуленко. - К.: НУХТ, 2002. - 51 с.: рис. - Бібліогр.: с. 51-52

14. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні: навч. посібник для студ. спец. 7.090601 - "Електричні станції, 7.090602 - "Елетричні системи і мережі" / Ю. В. Лук'яненко [та др.]; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2002. - 111 с.: рис. - Бібліогр.: с.111.

15. Денисюк А.Ю., Хливнюк М.Г., Шестак І.М. Комп‘ютерна електроніка: Навч. Посіб. - Житомир: ЖВІ, 2017. - с. 33-44.

16. Електричні мережі систем електропостачання [Текст] : навч. посібник для студ. вищих навч. закл. / Г. Г. Півняк [та ін.]; ред. Г. Г. Півняк; Національний гірничий ун-т. - Д.: НГУ, 2003. - 316 с.: рис. - Бібліогр.: с. 311. - ISBN 966-8271-45-9