

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

ПРОГРАМА, МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

з вивчення дисципліни

Основи релейного захисту та автоматики

та контрольні завдання

**для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка і
електромеханіка» заочної форми навчання**

2026

Програма, методичні вказівки з вивчення дисципліни «Основи релейного захисту та автоматики» та контрольні завдання для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка» заочної форми навчання. /Укл.: Махлін П.В. - Запоріжжя: Національний університет «Запорізька політехніка», 2026. – 34с.

Укладачі:

П.В. Махлін, доцент, к.т.н.

Рецензент:

О.А. Шрам, зав. кафедри, к.т.н

Відповідальний

за випуск:

О.А. Шрам, зав. кафедри, к.т.н.

Рекомендовано
на засіданні НМК
електротехнічного факультету
Протокол №10 від 21.05.26

Затверджено
на засіданні кафедри ЕПП
Протокол № 10 від 20.05. 26

ЗМІСТ

с

1 Загальні методичні вказівки.....	4
2 Робоча програма та методичні вказівки щодо вивчення тем дисципліни.....	6
2.1 Призначення релейного захисту та автоматики.....	6
2.2 Первинні перетворювачі струму та напруги.....	6
2.3 Вторинні перетворювачі струму та напруги	7
2.4 Принципи виконання реле.....	8
2.5 Максимальний струмовий захист.....	9
2.6 Струмова відсічка без витримки часу.....	9
2.7 Струмова відсічка з витримкою часу.....	10
2.8 Струмовий захист з прискоренням до автоматичного повторного включення та після нього.....	11
2.9 Максимальний струмовий спрямований захист.....	11
2.10 Захист від замикань на землю.....	12
2.11 Дистанційний захист.....	13
2.12 Диференційний захист.....	14
2.13 Струмовий захист від міжфазних КЗ та перевантажень силових трансформаторів.....	15
2.14 Газовий захист силових трансформаторів.....	16
2.15 Диференційний захист силових трансформаторів та автотрансформаторів.....	17
2.16 Релейний захист синхронних та асинхронних двигунів.....	18
3 Перелік лабораторних робіт.....	20
4.Контрольні завдання.....	21
5 Релейний захист кабельної лінії.....	23
6 Релейний захист силового трансформатора.....	29
Перелік джерел посилань.....	33

1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Релейний захист та автоматика (РЗА) є одним із найважливіших елементів системи електропостачання промислових підприємств, так звані вторинні системи електроенергетики. РЗА при порівняно невеликих затратах забезпечують стійкість, надійність та ефективність роботи елементів електропостачання. Без засвоєння дисципліни «Релейний захист та автоматика» не можливе вивчення таких дисциплін як «Релейний захист та автоматика систем електропостачання», «Електричні станції та підстанції», «Електропостачання промислових підприємств».

Метою викладання дисципліни «Релейний захист та автоматика» є засвоєння студентами основних положень релейного захисту, датчиків інформації для пристроїв релейного захисту, принципів конструкцій та елементної бази реле, принципів побудови релейного захисту, елементів системи електропостачання, розробки принципових схем релейного захисту та їх розрахунок.

Студенти повинні знати: основні вимоги до релейного захисту, принципи дії, конструкції та основні метрологічні характеристики датчиків інформації для пристроїв релейного захисту та автоматики, знати основні принципи дії та конструкції реле, основні види захисту елементів електричних систем.

Студенти повинні вміти проводити розрахунки пристроїв релейного захисту, вибирати параметри спрацьовування реле, практично їх виставляти і перевіряти на стендах, вибирати види релейного захисту для різних елементів електроенергетичних систем, будувати принципові схеми.

Під час установчої сесії студенти прослуховують лекції, виконують та захищають лабораторні роботи, отримують варіанти завдань для виконання контрольних робіт..

Кожний студент повинен виконати чотири лабораторні роботи [8].

При самостійному вивченні курсу до екзаменаційної сесії студента заочної форми навчання рекомендується:

- 1) ознайомитись із програмою та методичними вказівками;
- 2) вивчити курс за підручниками та посібниками в об'ємі програми, звертаючи увагу на контрольні запитання, що наведені в кінці кожної теми;

3) скласти короткий конспект з основними положеннями тем, рисунками, математичними формулами, умовами вибору та розрахунку РЗА;

4) виконати та заздалегідь вислати, або привезти в університет контрольні роботи.

Студенти, котрі не представили до екзаменаційної сесії контрольні роботи, до екзамену не допускаються.

Теми лекцій, які виносяться на установчу сесію.

1. Максимальний струмовий захист.
2. Струмова відсічка без витримки часу.
3. Захист від замикань на землю.
4. Дистанційний захист.
5. Диференційний захист ліній електропередач.
6. Захист силових трансформаторів та автотрансформаторів.
7. Захист асинхронних та синхронних двигунів.

2 РОБОЧА ПРОГРАМА І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИВЧЕННЯ ТЕМ ДИСЦИПЛІНИ

2.1 Призначення релейного захисту та автоматики

Лекції – 0 година

Самостійна робота – 4 години

Література – [1,3]

Контрольні запитання

1. Яке основне призначення релейного захисту та автоматики?
2. Основні вимоги до релейного захисту та автоматики.
3. Що таке абсолютна селективність релейного захисту?
4. Що таке відносна селективність релейного захисту?
5. По якому параметру оцінюється чутливість релейного захисту?
6. Пошкодження бувають в електричних мережах?\
7. Які види ненормальних режимів роботи бувають в електричних мережах?
8. В чому особливості міських та сільських розподільчих систем?

2.2 Первинні перетворювачі струму та напруги

2.2.1 Первинні вимірювальні перетворювачі струму. Основні вимоги та класифікація. Векторна діаграма. Основні метрологічні характеристики. Розрахунок навантаження трансформаторів струму по кривим граничної кратності.

Лекції – 0 години

Самостійна робота – 5 година

Література – [1,3]

2.2.2 Первинні вимірювальні перетворювачі напруги. Основні вимоги та класифікація. Векторна діаграма. Основні метрологічні характеристики.

Лекції – 0 година

Самостійна робота – 5 година
Література – [1,3]

Контрольні запитання

1. Яке призначення трансформатору струму (ТС)?
2. Основні вимоги до ТС, які призначені для РЗА.
3. Які основні метрологічні характеристики ТС?
4. Чим характеризується робота ТС в аварійних режимах роботи енергосистеми?
5. Як розраховується навантаження ТС по кривим граничної кратності?
6. Яке призначення трансформаторів напруги (ТН)?
7. Основні вимоги до ТН.
8. Основні метрологічні характеристики ТН.
9. Класи точності ТС та ТН.

2.3 Вторинні перетворювачі струму та напруги

Вторинні перетворювачі струму та напруги. Трансреактор. Трансформатори струму, що насичуються. Фільтри струму зворотної та нульової складової. Фільтри напруги зворотної та нульової складової.

Лекції – 0 годин
Самостійна робота – 4 години
Література – [1,3]

Контрольні запитання

1. Що таке трансреактор?
2. Принцип дії трансформатору струму, що насичується.
3. Принцип дії фільтра струму зворотної послідовності.
4. Принцип дії трьох трансформаторного фільтра нульової послідовності.
5. Принцип дії одно трансформаторного фільтра нульової послідовності (кабельного трансформатору).

2.4 Принципи виконання реле

Принцип дії та виконання електромагнітних реле. Вимірювальні та логічні реле. Принцип дії індукційних реле. Вимірювальні індукційні реле. Реле напрямку потужності. Реле з постійним магнітом. Реле на мікропроцесорній базі.

Лекції – 0 годин

Самостійна робота – 10 годин

Література – [1,2]

Контрольні запитання

1. Струм спрацювання та струм повернення електромагнітних реле струму.
2. Чим відрізняється електромагнітне реле струму від реле напруги?
3. Що таке первинні та вторинні реле?
4. Що таке реле прямої та непрямої дії?
5. Принцип дії індукційних реле.
6. З яких елементів складається індукційне реле струму РТ-80?
7. Принцип дії індукційного елемента реле РТ-80.
8. Що таке струм спрацювання індукційного реле РТ-80, та чим визначається час його спрацювання?

2.5 Максимальний струмовий захист

Максимальний струмовий захист. Вибір параметрів спрацювання. Максимальний струмовий захист з незалежною характеристикою та з обмежено залежною характеристикою витримки часу. Максимальний струмовий захист з дешунтуванням електромагніту відключень. Схеми включень вимірювальних органів струмового захисту. Схеми максимального струмового захисту.

Лекції – 1 години

Самостійна робота – 13 годин

Література – [1,3]

Контрольні запитання

1. Як вибираються параметри спрацьовування максимального струмового захисту (МСЗ)?
2. Як забезпечується селективність дії МСЗ?
3. Що таке МСЗ з незалежною витримки часу?
4. Що таке МСЗ з обмежено залежною характеристикою витримки часу?
5. Принцип дії МСЗ з дешунтуванням електромагніту відключення.
6. Які бувають схеми включення вимірювальних органів МСЗ і де вони застосовуються?
7. Як перевіряється чутливість МСЗ?

2.6 Струмова відсічка без витримки часу

Струмова відсічка без витримки часу (перший ступінь). Вибір параметрів спрацьовування. Струмова відсічка для ЛЕП з двостороннім живленням. Вибір параметрів спрацьовування.

Лекції – 1 години

Самостійна робота – 7 годин

Література – [1,3]

Контрольні запитання

1. Як вибираються параметри спрацьовування струмової відсічки (СВ) без витримки часу?
2. Яка зона дії СВ без витримки часу?
3. Чи можливо застосовувати СВ без витримки часу як основний захист ЛЕП?
4. Чи можливо застосовувати СВ без витримки часу для ЛЕП з двостороннім живленням?
5. Як забезпечується селективність дії СВ без витримки часу?

2.7 Струмова відсічка з витримкою часу

Струмова відсічка з витримкою часу (другий ступінь). Вибір параметрів спрацьовування. Зона дії СВ з витримкою часу.

Лекції – 0 години

Самостійна робота – 6 годин

Література – [1,3]

Контрольні запитання

1. Струмова відсічка з витримкою часу
2. Як вибираються параметри спрацьовування СВ з витримкою часу?
3. Як забезпечується селективність дії СВ з витримкою часу?
4. Як перевіряється чутливість СВ з витримкою часу?
5. Яка зона дії СВ з витримкою часу?

2.8 Струмовий захист з прискоренням до автоматичного повторного включення та після нього

Струмовий захист з прискоренням до автоматичного повторного включення. Струмовий захист з прискоренням після автоматичного повторного включення. Забезпечення селективності дії.

Лекції – 0 години

Самостійна робота – 8 годин

Література – [1,3]

Контрольні запитання

1. Що таке струмовий захист з прискоренням до автоматичного повторного включення?
2. Що таке струмовий захист з прискоренням після автоматичного повторного включення?
6. Як забезпечується селективність дії струмового захисту з прискоренням до автоматичного повторного включення?
7. Як забезпечується селективність дії струмового захисту з прискоренням після автоматичного повторного включення?
8. Які автоматичні пристрої використовуються та як вони діють?

2.9 Максимальний струмовий спрямований захист

2.5.1 Максимальний струмовий спрямований захист (МССЗ).
Принцип дії. Вибір параметрів спрацьовування. Зона дії захисту.
Схеми виключення реле напрямку потужності.

Лекції – 0 година

Самостійна робота – 10 години

Література – [1,3,4]

Контрольні запитання

1. Що таке МССЗ?
2. Як вибираються параметри МССЗ?
3. Як забезпечується селективність МССЗ?
4. Що таке мертва зона МССЗ?
5. Які існують схеми включення реле напрямку потужності?
6. У яких випадках МССЗ можна виконувати без витримки часу?

2.10 Захист від замикань на землю

Захист від замикань на землю в мережах з глухо та ефективно заземленою нейтраллю. Захист від замикань на землю в мережах з ізолюваною або включеною через дугогасячий реактор нейтраллю. Принцип дії. Вибір параметрів спрацьовування.

Лекції – 1 години

Самостійна робота – 11 години

Література – [1,3,4]

Контрольні запитання

1. Які первинні перетворювачі струму застосовуються для захисту від замикань на землю в мережах з глухо заземленою нейтраллю?
2. Як вибираються параметри спрацьовування для захисту від замикань на землю в мережах з глухо заземленою нейтраллю?

3. Чим відрізняється вибір витримок часу МСЗ від між фазних замикань та МСЗ від замикань на землю ?
4. Як вибираються параметри спрацьовування для захисту від замикань на землю в мережах з ізольованою нейтраллю ?
5. Що таке несективна сигналізація від замикань на землю в мережах з ізольованою нейтраллю ?
6. Який струм протікає через місце установки струмового захисту непошкодженої ЛЕП, яка гальванічно пов'язана з ЛЕП, у якої однофазне замикання на землю ?
7. На які параметри та складаючи струму нульової послідовності може реагувати захист від замикань на землю в мережах з ізольованою нейтраллю ?

2.11 Дистанційний захист

Дистанційний захист ліній електропередач. Принцип дії. Реле опору. Схеми та характеристики захисту. Вибір параметрів спрацьовування трьохступінчатого захисту.

Лекції – 1 година

Самостійна робота – 9 години

Література – [1,3]

Контрольні запитання

1. Принцип дії дистанційного захисту.
2. На які величини реагує дистанційний захист?
3. Принцип дії реле опору.
4. Як вибираються параметри спрацьовування першого, другого та третього ступеня дистанційного захисту?
5. Як перевіряється по чутливості дистанційний захист?
6. Які існують схеми включення реле опору?
7. Яка зона захисту першого ступеню дистанційного захисту ?
8. Яка зона захисту другого ступеню дистанційного захисту ?

2.12 Диференційний захист

Подовжній струмовий диференційний захист. Принцип дії. Вибір параметрів спрацьовування. Схеми захисту ЛЕП. Способи підвищення чутливості диференційного захисту.

Поперечний диференційний струмовий захист. Принцип дії. Вибір параметрів спрацьовування. Мертва зона.

Поперечний диференційний струмовий спрямований захист. Принцип дії. Вибір параметрів спрацьовування. Мертва зона та зона каскадної дії.

Лекції – 2 година

Самостійна робота – 14 години

Література – [1,3]

Контрольні запитання

1. Принцип дії подовжного диференційного струмового захисту (ПДСЗ) ЛЕП.
2. Які є способи підвищення чутливості ПДСЗ ЛЕП?
3. Які є особливості ПДСЗ ЛЕП, що обумовлені великою довжиною ЛЕП?
4. Яким чином передається сигнал між комплектами реле, що знаходяться з двох сторін ЛЕП?
5. Для чого в схемі ПДСЗ використовуються комбіновані фільтри струму та трансформатори струму, що швидко насичуються ?
6. Як вибирається струм спрацьовування ПДСЗ?
7. Які реле використовуються для ПДСЗ?
8. Принцип дії поперечного диференційного струмового захисту (ПоДСЗ) ЛЕП?
9. Як вибираються параметри спрацьовування ПоДСЗ ЛЕП?
10. Що таке мертва зона ПоДСЗ та коли вона виникає?
11. Принцип дії поперечного диференційного спрямованого струмового захисту (ПоДССЗ)?
12. Як вибираються параметри спрацьовування ПоДССЗ ЛЕП?
13. Що таке зона каскадної дії ПоДССЗ і коли вона виникає?
14. Чи є у ПоДССЗ мертва зона?
15. Які переваги має поперечний струмовий спрямований захист над неспрямованим?

2.13 Струмовий захист від міжфазних КЗ та перевантажень силових трансформаторів

Пошкодження та не нормальні режими роботи. Струмові захисти від між фазних замикань, від перевантаження. Струмова відсічка без витримки часу. Максимальний струмовий захист. Максимальний струмовий захист з пуском по напрузі. Захист від перевантаження.

Лекції – 0 години

Самостійна робота – 8 годин

Література: [1,3,4,7]

Контрольні запитання

1. Який захист вибирається захист для трансформаторів потужністю до 6,3 МВА від між фазних к.з. в обмотках, та на виводах?
2. Як вибираються параметри спрацьовування струмової відсічки силових трансформаторів?
3. Як перевіряється по чутливості струмова відсічка силових трансформаторів?
4. Як вибираються параметри спрацьовування максимального струмового захисту силових трансформаторів?
5. Як перевіряється по чутливості максимальний струмовий захист силових трансформаторів?
6. Який захист вибирається захист для трансформаторів потужністю до 6,3 МВА від між фазних к.з. в обмотках, та на виводах умова по чутливості для струмової відсічки не виконується?
7. Який захист вибирається захист для трансформаторів потужністю до 6,3 МВА від між фазних к.з. в обмотках, та на виводах умова по чутливості для максимального струмового захисту не виконується?
8. Як вибираються параметри спрацьовування максимального струмового захисту силових трансформаторів з пуском по напрузі?

2.14. Газовий захист силових трансформаторів

Призначення газового захисту. Принцип дії газового захисту. Газове реле, принцип дії Електрична схема включення контактів газового реле.

Лекції – 1 години

Самостійна робота – 9 годин

Література: [1,2,4,7]

Контрольні запитання

1. Від яких пошкоджень захищає газовий захист?
2. Принцип дії газових реле?
3. Для яких силових трансформаторів використовується газовий захист?
4. В яких випадках газовий захист діє на сигнал?
5. В яких випадках газовий захист діє на відключення?
6. Описати роботу електричної схеми газового захисту.

2.15 Диференційний захист силових трансформаторів та автотрансформаторів

Диференційна струмова відсічка. Реле для диференційного струмового захисту. Вибір параметрів спрацьовування спрацьовування диференційного струмового захисту силового трансформатора. Особливості диференційного струмового захисту силового трансформатора.

Диференційна струмова відсічка. Диференційний захист, вибір параметрів спрацьовування. Особливості диференційного захисту силових трансформаторів та автотрансформаторів. Диференційні реле. Диференційний захист на основі комплектів на мікроелектронній базі. Пристрої проти аварійної автоматики – АВР, АПВ, автоматичне розвантаження.

Лекції – 1 години

Самостійна робота – 16 годин

Література – [1,2]

Контрольні запитання

1. Який захист вибирається для трансформаторів потужністю до 6,3 МВА від між фазних к.з. в обмотках, та на виводах?
2. Який захист вибирається для трансформаторів потужністю 6,3 МВА та більше від між фазних к.з. на обмотках та виводах?
3. Які реле використовуються для диференційного захисту трансформаторів?
4. Для чого потрібні вирівнювальні обмотки в диференційних реле.
5. Яка роль трансформатора що швидко насичується, в диференційному рел ?
6. Які особливості диференційного захисту силового трансформатора?
7. Який захист використовується від внутрішніх пошкоджень трансформатора?
8. Який захист використовується від зовнішніх к.з.?
9. Який захист повинен спрацьовувати при між фазному к.з. на виводах трансформатора з сторони навантаження?

2.16 Релейний захист синхронних та асинхронних двигунів

Пошкодження та ненормальні режими роботи. Струмові захисти асинхронних двигунів. Струмові захисти синхронних двигунів. Захист від асинхронного режиму.

Лекції – 0 години

Самостійна робота – 16 годин

Література – [1,2]

Контрольні запитання

1. Який захист вибирається для асинхронних двигунів потужністю до 2000 кВт від між фазних к.з. в обмотках та на виводах?

2. Який захист вибирається для асинхронних двигунів потужністю до 5000 кВт від між фазних к.з. в обмотках та на виводах?
3. Який захист вибирається для асинхронних двигунів потужністю більше 5000 кВт від між фазних к.з. в обмотках та на виводах?
4. Які реле використовуються для струмового захисту асинхронних електродвигунів?
5. Особливості захисту синхронних двигунів?
6. Як вибирається струм спрацьовування струмової відсічки асинхронних двигунів?
7. Як вибирається струм спрацьовування диференційного захисту асинхронних двигунів?
8. Схема диференційного захисту асинхронних та синхронних двигунів?

3 ПЕРЕЛІК ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Студенти заочної форми навчання виконують лабораторні роботи за методичними вказівками [8] :

1. Електромагнітні реле. Вивчення конструкцій, виставлення та перевірка параметрів спрацьовування та повернення (2 години)
2. Індукційні реле. Вивчення конструкцій, виставлення та перевірка параметрів спрацьовування та повернення (2 години)
3. Максимальний струмовий спрямований захист (2 години)
4. Диференційний захист трансформаторів (2 години)

4 КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Контрольна робота №1

Варіант №

U,кВ	X _c , Ом	ПЛ		КЛ1			КЛ2		
		S,мм ²	L,км	I _{роб} макс, А	S,мм ²	L,км	I _{роб} макс, А	L,км	S,мм ²

Об'єм завдання

Розрахунок струмів коротких замикань (КЗ)у в обсязі,

необхідному для розрахунку параметрів спрацьовування і перевірки чутливості релейного захисту.

Вибір принципів релейного захисту для заданих елементів.

Розрахунок релейного захисту для заданих елементів (розрахунок параметрів спрацьовування, перевірка чутливості , розрахунок витримок часу релейного захисту).

Для заданих елементів розрахункового ланцюга розробити рознесені схеми ланцюгів струму та напруги релейного захисту.

Контрольна робота №2

Варіант №

Хс, Ом	ПЛ		U _{ВН}	U _{НН}	Транс. 1		Транс. 2	
	S, мм ²	l, км	кВ	кВ	S, кВА	K _{загр}	S, кВА	K _{загр}

Об'єм завдання

Розрахунок струмів КЗ в обсязі, необхідному для розрахунку параметрів спрацьовування і перевірки чутливості захист

Вибір принципів релейного захисту для заданих елементів.

Розрахунок релейного захисту для заданих елементів (розрахунок параметрів спрацьовування, перевірка чутливості, розрахунок витримок часу релейного захисту).

Для заданих елементів розрахункового ланцюга розробити рознесені схеми ланцюгів струму релейного захисту.

Вихідні дані для контрольних робіт №1 та №2 задаються викладачем при видачі завдання на контрольні роботи.

Номер варіанту та вихідні дані заносяться студентом в таблиці на листу контрольного завдання. Приклад розрахунку подібних задач прикладається в додатку.

5 РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ КАБЕЛЬНОЇ ЛІНІЇ

Для кабельних ліній напругою 6-10 кВ повинні бути передбачені пристрої релейного захисту від багатозафазних КЗ, від однофазних замикань на землю та від перевантаження.

Згідно з ПУЕ (п.3.2.93) на одиночних повітряних ЛЕП з одностороннім живленням від багатозафазних КЗ встановлюється, як правило, двоступеневий струмовий захист: струмова відсічка - перший ступінь, максимальний струмовий захист - другий ступінь.

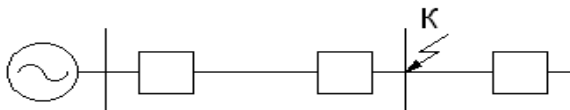


Рисунок 5.1 – Магістральні кабельні ЛЕП

5.1. Струмова відсічка без витримки часу

Струм спрацьовування струмової відсічки відстроюється від максимально можливого к.з. поза ЛЕП, що захищається:

$$I_{сз} = K_n * I_{к\max}^{(3)}, \quad (5.1)$$

де $I_{к\max}^{(3)}$ – максимальне значення періодичної складової струму трифазного КЗ поза ЛЕП, що захищається, який протікає через місце установки релейного захисту;

K_n – коефіцієнт надійності (запасу), для реле РТ-40 $K_n=1,2-1,3$.

Розрахунковою точкою к.з. для визначення значення $I_{к\max}^{(3)}$ є КЗ на шинах протилежної підстанції (точка К) при мінімальному опорі джерела живлення (енергосистеми).

Якщо до шин протилежної підстанції підключені декілька силових трансформаторів, то необхідно струм спрацьовування струмової відсічки відстроїти від кидків струмів намагнічення силових трансформаторів при їх включенні:

$$I_{cз} = (4 \div 5) I_{тном}, \quad (5.2)$$

де $I_{тном}$ – сума номінальних струмів силових трансформаторів.

Струм спрацьовування реле струмової відсічки:

$$I_{cp} = \frac{K_{cx}}{K_{mc}} * I_{cз}, \quad (5.3)$$

де K_{cx} – коефіцієнт схеми;

K_{mc} – номінальний коефіцієнт трансформації трансформатору струму.

5.2 Максимальний струмовий захист (МСЗ)

Струм спрацьовування МСЗ:

$$I_{cз} = \frac{K_n * K_{cз}}{K_n} I_{роб\ max}, \quad (5.4)$$

де $I_{роб\ max}$ – значення струму в кабельній ЛЕП при максимальному робочому навантаженні;

K_n – коефіцієнт надійності (запасу), для реле РТ-40 $K_n = 1,2$;

$K_{cз}$ – коефіцієнт самозапуску загальмованого навантаження,
 $K_n = 2 - 3$;

K_n – коефіцієнт повернення реле (для реле РТ-40 $K_n = 0,8$).

Струм спрацьовування реле МСЗ:

$$I_{cp} = \frac{K_{cx}}{K_{mc}} * I_{cз}, \quad (5.5)$$

МСЗ перевіряється за чутливістю. Розрахунковою точкою являється двофазне КЗ на шинах протилежної підстанції (точка К на

рис. 5.1) при максимальному значенні опору джерела живлення. При $k_{cx}=1$ коефіцієнт чутливості можна визначити за формулою:

$$K_q = \frac{I_{k \min}}{I_{c3}} \geq 1,5, \quad (5.6)$$

де $I_{k \min}$ – струм, що протікає через місце установки захисту при мінімально можливому металевому КЗ на ЛЕП, що захищається.

Струм, що протікає при цьому в обмотці реле

$$I_{p \min} = \frac{I_{k \min}}{K_{mc}}. \quad (5.7)$$

Якщо умова (5.6) не виконується, то необхідно вибрати МСЗ з комбінованим пуском - по струму та по напрузі. У цьому випадку струм спрацьовування МСЗ визначається по формулі (5.4), але приймається $K_{c3}=1-1.2$, а потім по (5.6) або (5.7) перевіряється чутливість захисту.

Напруга спрацьовування органа мінімальної напруги вибирається із двох умов:

$$U_{c3} \leq U_{ост}^{(3)}, \quad (5.8)$$

$$U_{c3} = \frac{U_{роб \min}}{K_n}, \quad (5.9)$$

де $U_{ост}$ – залишкова напруга в місці установки захисту при к.з. на шинах протилежної підстанції;

$U_{роб \min}$ – мінімально можлива напруга в робочому режимі.

Примітка: В контрольній роботі рекомендується приймати $U_{c3} \approx 0,7 U_{ном}$.

Напруга спрацьовування реле напруги:

$$U_{cp} = \frac{U_{c3}}{K_{mn}} \quad (5.10)$$

де K_{mn} – номінальний коефіцієнт трансформації трансформатору напруги.

Витримка часу спрацювання МСЗ вибирається по ступінчатому принципу починаючи з найбільш віддаленої ділянки:

$$t_{cz} = t_{cz1} + \Delta t, \quad (5.11)$$

де t_{cz1} – час спрацювання МСЗ суміжного елемента,
 Δt – ступінь селективності.

5.3 Захист від перевантаження

Захист від перевантаження виконується у вигляді МСЗ з одним реле включеним в одну фазу. При двофазній дворелейній схемі захисту найбільш раціонально - включити реле в нульовий провід.

Струм спрацювання захисту:

$$I_{cz} = \frac{K_n * I_{don}}{K_n}, \quad (5.12)$$

де I_{don} – тривало допустимий струм кабельної лінії (вибирається з ПУЕ);

$$K_n = 1,05; K_n = 0,8.$$

Струм спрацювання реле:

$$I_{cp} = \frac{I_{cz} * K_{CX}}{K_{me}}. \quad (5.13)$$

5.4 Захист від замикань на землю

Захист від замикань на землю кабельної ЛЕП виконується у вигляді МСЗ нульової послідовності. Датчиком інформації для захисту є однотрансформаторний фільтр нульової послідовності -кабельний трансформатор.

Струм спрацювання захисту:

$$I_{сз} = \frac{K_H * I_{скл}}{K_n},$$

(5.14)

де $I_{скл}$ – струм замикання на землю кабельної ЛЕП;

$$K_H = 2-3; K_n = 0,8-0,85.$$

Примітка: 1. Значення I_c – вибирається або з довідкової літератури, або по спрощеній формулі (в А):
для кабельних ЛЕП

$$I_{скл} = \frac{UI}{10}, \quad (5.15)$$

для повітряних ЛЕП

$$I_{свл} = \frac{UI}{350}, \quad (5.16)$$

де U - напруга на ЛЕП, кВ;

l - довжина ЛЕП, км.

В зв'язку з тим в контрольній роботі дається тільки фрагмент схеми коефіцієнт чутливості в даному випадку не визначається.

Витримка часу спрацьовування захисту по ступінчатому принципу, починаючи з елемента найбільш віддаленого від джерела живлення в мережі з ізольованою, або включеною через дугогасний реактор нейтраллю:

$$t_{сз0} = t_{сз01} + \Delta t, \quad (5.17)$$

де $t_{сз01}$ – витримка часу спрацьовування захисту суміжного елемента.

На рисунку 5.2 показані пояснююча схема, схема ланцюгів струму, схема ланцюгів напруги, оперативна схема та ланцюги сигналізації захисту кабельної ЛЕП з використанням МСЗ з пуском по напрузі.

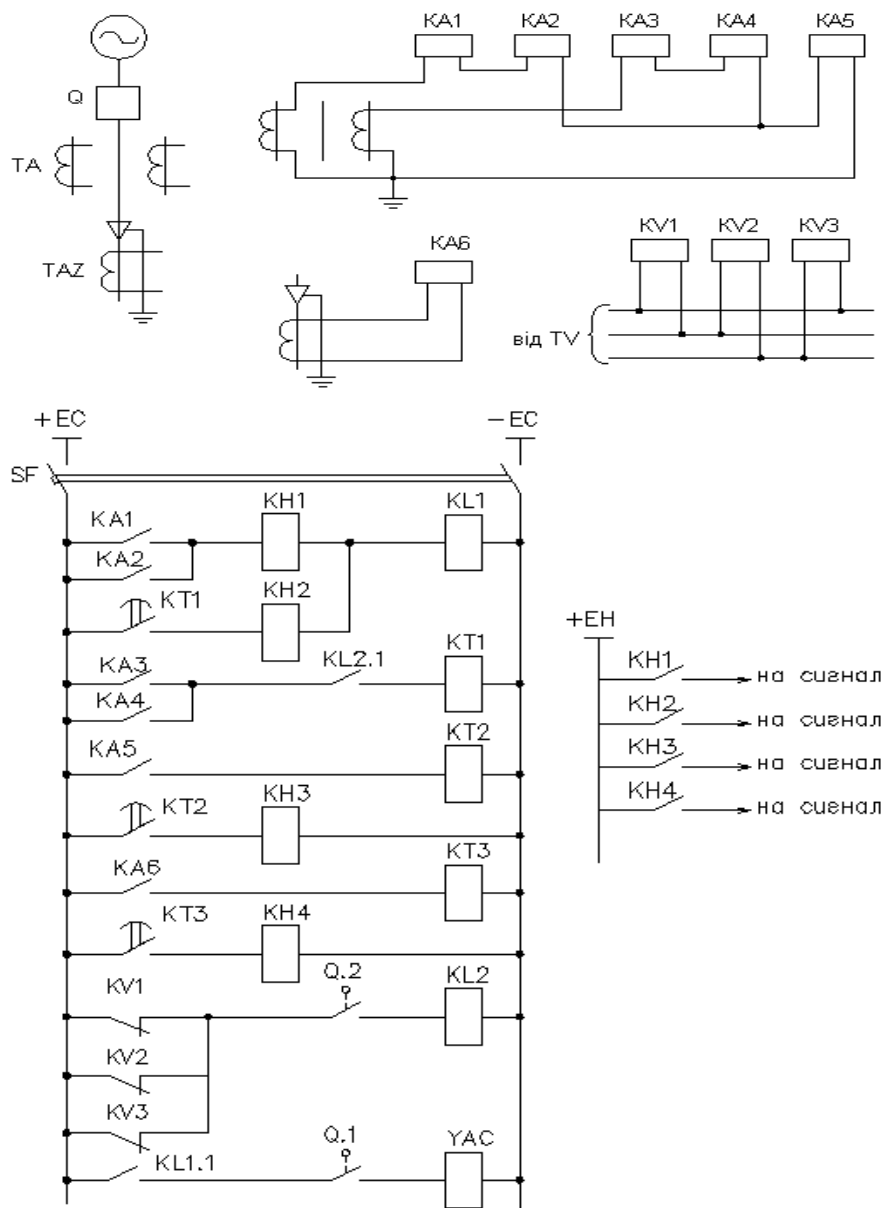


Рисунок 5.2 – Схема захисту кабельної лінії

6 РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Для силових трансформаторів потужністю до 6,3 МВА з обмоткою вищої напруги 6-35 кВ повинні бути передбачені пристрої релейного захисту від багатофазних к.з. в обмотках та на виводах, виткових замикань в обмотках, струмів, що виникають при зовнішніх к.з. та перевантаженнях, пониження рівня масла.

Згідно з ПУЕ на силових трансформаторах потужністю до 6,3 МВА від багатофазних к.з. на обмотках та на виводах, та від зовнішніх к.з. установлюється двоступеневий струмовий захист: струмова відсічка без витримки часу – перший ступінь та максимальний струмовий захист – другий ступінь.

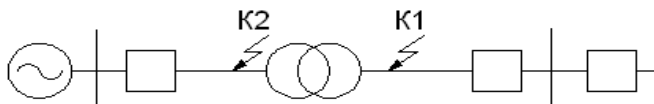


Рисунок 6.1 – Однолінійна схема підключення силового трансформатора

6.1 Струмова відсічка без витримки часу

Струм спрацьовування струмової відсічки без витримки часу вибирається аналогічно ЛЕП, по формулам (5.1) – (5.3). За розрахункову точку к.з. приймається замикання на виводах трансформатора з боку навантаження - точка K1 (рисунок 6.1). Але струмова відсічка трансформатора повинна бути перевірена на чутливість:

$$K_q = \frac{I_{p \min}}{I_{cp}} \geq 2, \quad (6.1)$$

або при $K_{cx} = 1$;

$$K_q = \frac{I_{k \min}}{I_{cz}} \geq 2, \quad (6.2)$$

де $I_{k \min}$ - мінімально можливий струм при к.з. на виводах трансформатора з боку джерела живлення (точка К2), тобто при двофазному к.з. та максимальному опорі джерела живлення;

$$I_{p \min} = \frac{I_{k \min} * K_{cx}}{K_{mc}}. \quad (6.3)$$

Якщо умова (6.1) або (6.2) не виконується, то необхідно використовувати диференційну струмову відсічку (ДСВ). Струм спрацьовування ДСВ вибирається із двох умов:

$$I_{cz} = K_n I_{tnom}, \quad (6.4)$$

$$I_{cz} = K'_n I_{нброз \max}, \quad (6.5)$$

$$I_{нброз \max} = K_a * K_{одн} * \frac{\varepsilon}{100} I_{кзов \max}, \quad (6.6)$$

де $K_a = 2$ - коефіцієнт, що враховує аперіодичну складову у первинному струмі;

$K_{одн} = 1$ - коефіцієнт однотипності ТС;

$\varepsilon = 10\%$ - допустима похибка ТС;

$I_{кзов \max}$ - періодична складова максимального струму зовнішнього к.з. (розрахункова точка К1);

$K'_n = 1,2$ - коефіцієнт надійності;

K_n - коефіцієнт надійності, що враховує кидок струму намагнічування силового трансформатору при включенні;
 $K_n = 4 - 5$.

I_{tnom} - номінальний струм силового трансформатору.

Як правило, перша умова для диференційної струмової відсічки (6.4) - являється визначальною. По формулі (6.2) визначається коефіцієнт чутливості захисту, а по формулі (6.3) - струм спрацьовування реле.

6.2 Максимальний струмовий захист

Розрахунок параметрів спрацювання МСЗ проводиться аналогічно МСЗ ЛЕП. За розрахункову точку к.з. при визначенні чутливості МСЗ вибирається точка К1 – мінімально можливе к.з. на виводах трансформатора з боку навантаження.

Якщо умова (5.7) не виконується (недостатня чутливість), то аналогічно ЛЕП вибирається МСЗ з пуском по струму і напрузі.

6.3 Захист від перевантаження

Захист від перевантаження виконується у вигляді МСЗ з одним реле включеним в одну фазу. Струм спрацювання захисту від перевантаження:

$$I_{сз} = \frac{K_n * I_{ном}}{K_n}, \quad (6.7)$$

де $K_n = 1,05$ - коефіцієнт надійності;

$K_n = 0,8 - 0,85$ – коефіцієнт повернення.

Струм спрацювання реле:

$$I_{ср} = \frac{I_{сз} * K_{сх}}{K_{мс}}. \quad (6.8)$$

6.3 Газовий захист силового трансформатора

Згідно з ПУЕ для трансформаторів потужністю 6,3 МВА та більше зовнішньої установки, та 0,63 МВА і більше цехових трансформаторів встановлюється захист від внутрішніх пошкоджень трансформаторів та зниження рівня масла – газовий захист. Газове реле встановлюється на маслопроводі між кожухом трансформатора та маслорозширювачем.

Верхня контактна система газового реле реагує та подає сигнал при зниженні рівня масла, а нижня – реагує на пошкодження у кожусі трансформатора та дає команду на відключення трансформатора.

На рис. 6.2 показана пояснююча схема, схема ланцюгів струму, а на рис. 6.3 оперативна схема та схема сигналізації захисту силового трансформатору, у якого необхідно використовувати диференційну струмову відсічку, а МСЗ має достатню чутливість.

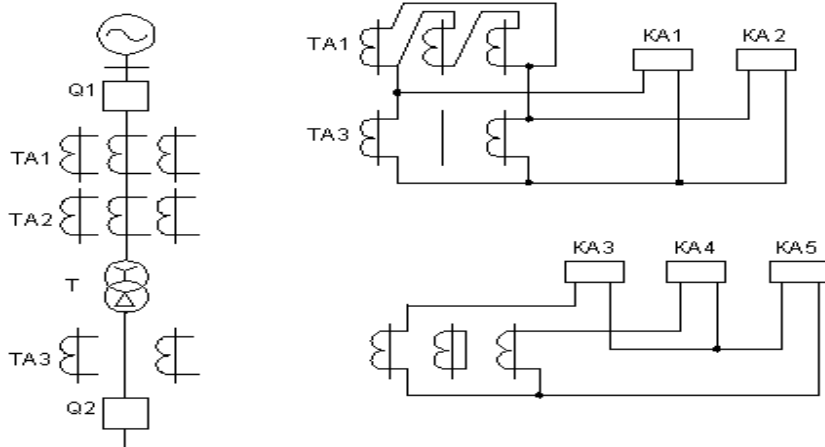


Рисунок 6.2 – Пояснююча схема та схема ланцюгів трансформаторів струму захисту силового трансформатору

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

Методичне забезпечення

1. Методичні вказівки до лабораторних робіт №3 «Максимальний струмовий спрямований захист ЛЕП», №4 «Диференційний захист силового трансформатора» з дисципліни «Основи релейного захисту та автоматики» для студентів спеціальності G3 «Електрична інженерія» усіх форм навчання /Укл. П.В. Махлін, О.А. Шрам, О.І Кузьменко. - Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2026.- 18с.

2. Програма, методичні вказівки з вивчення дисципліни «Основи релейного захисту та автоматики» та контрольні завдання для студентів спеціальності G3 «Електрична інженерія» усіх форм навчання заочної форми навчання /Укл.: П.В. Махлін. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2026.– 33с.

3. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Основи релейного захисту та автоматики» для студентів спеціальності G3 «Електрична інженерія» усіх форм навчання /Укл. П.В. Махлін, Є.П. Іваненко, О.І Кузьменко. - НУ «Запорізька політехніка», 2026.- 38с.

4. Методичні вказівки до лабораторної роботи «Диференційний захист потужних трансформатора та автотрансформаторів» з дисципліни «Основи релейного захисту та автоматики» для студентів спеціальності G3 «Електрична інженерія» усіх форм навчання /Укл. П.В. Махлін, О.І Кузьменко. - Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2026.-14с.

Базова література

1. Правила улаштування електроустановок: Глава 3.2. Релейний захист. Київ : Мінпаливенерго України НПЦР, 2017 , С. 384-427.

2. Правила улаштування електроустановок: Глава 3.3. Автоматика та телемеханіка Київ : Мінпаливенерго України НПЦР, 2015 – С. 428-452 с.

3. Яндульський О.С., Дмитренко О.О. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління

електроенергетичних систем : навч. посібник. Київ : НТУУ «КПІ», 2016, 103 с. URL. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/9fe8b977-13b6-4c3a-82bf-dcad5db59a34/content>

4. Кідиба В. П Релейний захист електроенергетичних систем: навч. посібник. Львів : Львівської політехніки, 2015. 504 с.

5. Махлін П.В., Костенко С.Ю., Кузьменко О.П. Інтелектуальні пристрої релейного захисту та автоматики : навч. посібник. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. 256 с.

6. Махлін П.В., Шрам О.А., Іваненко Є.П. Конструкції та принципи дії реле на різних елементних базах : навч. посібник. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка». 2020, 112 с.

Допоміжна література

7. ДСТУ ІЕС 60044-1:2008 Трансформатори вимірювальні. Частина 1. Трасформатори струму (ІЕС 60044 – 2003, IDT). Чинний від 2010-01-01. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. – 38с. – (Національні стандарти України)

8. Технічне обслуговування мікропроцесорних пристроїв релейного захисту, протиаварійної автоматики, електроавтоматики, дистанційного керування та сигналізації електростанцій та підстанцій від 0.4 кВ до 750 кВ: СОУ-Н-ЕЕ 35-514-2007. – [Чинний від 2007-10-30]. – К. :ОЕП «ГРІФРЕ», 2008. – 79с. – (Національні стандарти України)

9. Ніценко В.В., Кулагін Д.О., Махлін П.В. Дослідження похибок трансформаторів струму у системах релейного захисту в усталених та перехідних режимах енергосистеми Запоріжжя: Електротехніка та електроенергетика, 2016. №2. С. 87-94.

10. Облік та оцінювання пристроїв релейного захисту, протиаварійної автоматики, електроавтоматики: СОУ-Н-ЕЕ 35-504-2006. – [Чинний від 2006-12-21]. – К. :ОЕП «ГРІФРЕ», 2007. – 44с. – (Національні стандарти України)

11. Ніценко В.В., Кулагін Д.О., Махлін П.В. Розробка заходів підвищення селективності дії диференційно-фазного захисту збірних шин при насиченні трансформаторів струму. Київ: Енергетика: економіка, технології, екологія. НТУУ КПІ., Вип.4/2016. С. 43-52.

Лусь В.І., Киркач Т.Є., Мандріченко О.Є., Радченко А.О. Практикум з нарисної геометрії: навч. посібник. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2014. 118 с.

Яцків Я.С., Радченко А.І. Про ефективність видання наукових журналів в Україні. Вісник НАН України. 2012. № 6. С. 62–67.

ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ, 2016. 16 с. ГОСТ Р 517721-2001