

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторної роботи № 10

**"Диференційний захист потужних трансформаторів
та автотрансформаторів"**

з дисципліни «Основи релейного захисту та автоматики» для
студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка і
електромеханіка» денної та заочної форм навчання

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 10
"Диференційний захист потужних трансформаторів та автотрансформаторів з дисципліни «Основи релейного захисту та автоматики» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка» денної та заочної форм навчання
/Укл.: Махлін П.В, Кузьменко О.І.: - Запоріжжя: **НУ «Запорізька політехніка»**, 2026. – 14 с.

Укладачі:

П.В. Махлін, канд. техн. наук, доцент
О.І. Кузьменко, зав. лаб.

Рецензент

Шрам О.А. зав. кафедри, канд. техн. наук

Відповідальний за випуск:

Шрам О.А. зав. кафедри, канд. техн. наук

Рекомендовано
на засіданні НМК
«Електротехнічного факультету
Протокол №10 від 21.05.2026

Затверджено
на засіданні кафедри
«Електропостачання
промислових
підприємств»
Протокол № 10 від 20.05. 26

ЗМІСТ

с

1 Мета роботи.....	4
2 Програма робіт.....	4
3 Стислі відомості.....	4
3.1 Призначення захисту на основі реле ДЗТ-21, ДЗТ-23.....	4
3.2 Принципи дії та побудова реле типу ДЗТ-21, ДЗТ-23.....	5
3.3 Принцип дії захисту трансформатору на основі реле ДЗТ-21, ДЗТ-23.....	7
4 Проведення роботи.....	10
4.1 Схема лабораторного стенда.....	10
4.2 Проведення роботи.....	11
5 Зміст звіту.....	13
6 Питання для самоперевірки.....	13
Перелік джерел посилань.....	14

ЛАБОРОТОРНА РОБОТА № 10

«ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ ЗАХИСТ ПОТУЖНИХ ТРАНСФОРТОРІВ ТА АВТОТРАНСФОРМАТОРІВ»

1 Мета роботи

Ознайомитись з принципом побудови диференційного захисту потужного трансформатора на основі реле ДЗТ – 21.

2 Програма робіт

2.1 Вивчити принципи побудови диференційного захисту потужних трансформаторів та автотрансформаторів.

2.2 Вивчити схему лабораторного стенду.

2.3 Ознайомитись з схемою та принципом дії реле типу ДЗТ-21.

2.4 Експериментально (на стенді) перевірити роботу релейного захисту трансформатора на основі реле типа ДЗТ-21.

3 Стислі відомості

3.1 Призначення захисту на основі реле ДЗТ-21, ДЗТ-23

Диференційний захист з реле ДЗТ-21 (ДЗТ-23) призначені для використання в якості основного захисту силових трансформаторів, автотрансформаторів та блоків генератор – трансформатор [1].

Реле ДЗТ-21 виконано з спільним виходом трьох фаз, а реле ДЗТ-23 виконано з пофазним виходом [2]. У порівнянні з реле типа ДЗТ-11 реле ДЗТ-21 та ДЗТ-23 дозволяють підвищити швидкодію спрацювання та зменшити потужність, що споживається.

Захист з реле ДЗТ-21 забезпечує гальмування в залежності від арифметичної полусуми фазних струмів груп трансформаторів струму (ТС) з обох сторін трансформатора (автотрансформатора), що захищається.

3.2 Принципи дії та побудова реле типу ДЗТ-21, ДЗТ-23

3.2.1 Відбудова від кидків струму намагнічування трансформатору

Для відбудови від кидків струму намагнічування використовується те, що тривалість пауз між імпульсами струму не може бути менше, ніж 6,6мс. Ця властивість аперіодичного кидка використана для блокування захисту [2, 3, 4, 5]. Така тривалість прийнята в цих реле в якості часово-імпульсного блокування.

У трифазному трансформаторі та групи з трьох однофазних трансформаторів можливі умови, коли аперіодичні складові струмів двох фаз приблизно рівні, а у третій аперіодична складова практично відсутня. У цьому випадку отримується періодичний (різнополярний) кидок струму намагнічування. Амплітуда імпульсів при цьому менше, ніж при аперіодичному кидку. Тривалість пауз між імпульсами може досягнути 4мс, тобто часово імпульсним методом гальмування не здійснюється. Для гальмування спрацьовування реле у цьому випадку використовується те, що при періодичному кидку струму намагнічування в його складі має місце 40% та більше другої гармонічної складової (при аперіодичному кидку друга гармоніка може складати $\approx 15\%$). Таким чином у реле типу ДЗТ-21, ДЗТ-23 застосовується комбінація двох методів: часово імпульсне гальмування та гальмування від другої гармонії.

3.2.2 Корекція похибок ТС

При аперіодичному струмі в мережі ТС насичується. При цьому збільшується його похибка і друга гармонічна складова. Для забезпечення правильної роботи захисту необхідна коректорка форми кривої вторинного струму ТС. Для цього застосовується корегуюча ланка, що виконана з трансреактора, вторинна обмотка якого навантажена активним опором. При цьому забезпечується правильна передача форми струму та пауз, як одно полярного струму включення, так і періодичного.

Коректуюча ланка підвищує надійність роботи захисту при КЗ з великим крайностями струмів, коли ТС насичується і у вторинному

струмі з'являються паузи тривалістю 4,5 – 5 мс та більше. Коректуюча ланка зменшує тривалість фаз, що забезпечує правильну роботу часовоімпульсної схеми захисту при похибці не більше 10%.

Для забезпечення достатньої швидкодії захисту необхідно забезпечити роботу чутливого вимірювального органу. Так як час дії часово імпульсної схеми більше періоду основної частоти ввід диференційної відсічки знижує імовірність затримки захисту, тобто приводить до підвищення її швидкодії – 20 – 25мс.

3.2.3 Відбудови від зовнішніх КЗ

Відбудова від зовнішніх КЗ аналогічна диференційним захистам з електромагнітними реле (типу ДЗТ-21). Для цього виконується гальмування від струмів плечей захисту.

3.3 Принцип дії захисту трансформатора на основі реле ДЗТ-21, ДЗТ-23

Структурна схема захисту, що показана на рисунку 3.1, складається з робочого ланцюга РЛ, ланцюга гальмування від другої гармоніки ГЛ1, ланцюга процентного гальмування ГЛ2, часовоімпульсного регулюючого органа РО, диференційної відсічки ДВ, підсилювача П, вихідного реле ВР, блоку живлення БЖ.

На вхід процентного гальмування ГЛ2 надаються струми плечей захисту I_1 та I_2 . На вхід диференційної відсічки ДВ з виходу РЛ подається випрямлений струм. На вхід підсилювача П подаються сигналами реагуючих органів РО всіх трьох фаз.

Блок живлення БЖ є джерелом живлення РО, П, ВР.

На вході РЛ та ГЛ1 подається струм I_d диференційного ланцюга. На вхід РО з виходу робочого ланцюга РЛ подається робочий струм i_p та випрямлений струм, а з виходів ланцюгів гальмування ГЛ 1 та ГЛ 2 – виправлені струми зсуву, що направлені зустрічно струму i_p .

Елементи РЛ, ГЛ 1, ГЛ 2, ДВ, РО входять в модуль реле захисту диференційний МРЗД, що виконуються окремими для кожної фази.

Елементи П, ВР і БЖ являються спільними для всіх трьох фаз захисту та входять в модуль живлення та керування МЖК

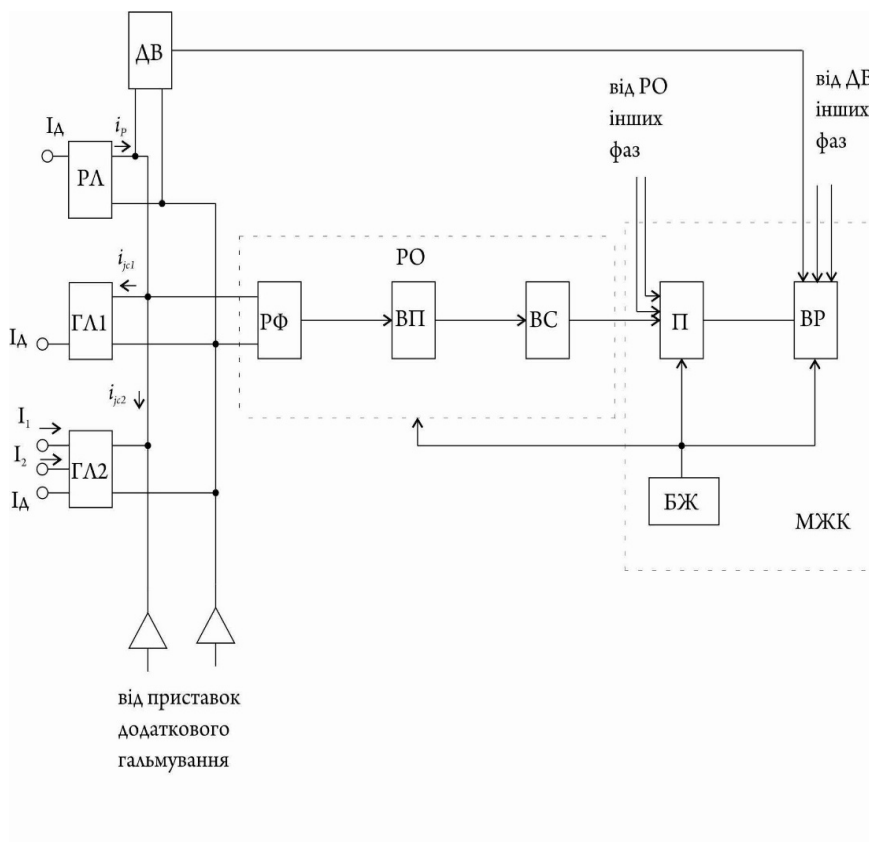


Рисунок 3.1 – Структурна схема захисту

Орган РО складається з релейного формувача прямокутних імпульсів РФ, елемента витримки часу на повернення ВП та елемента витримки часу на спрацювання.

В нормальному режимі та при зовнішньому КЗ струм на вході РО – i_p буде менше суми струмів спрацювання РО, тому сигнал на виході РФ буде рівний нулю.

При $i_p \geq i_{po} + i_{sc1} + i_{sc2}$ на вході РО та на виході РФ з'явиться одиничний сигнал, що поступає на вхід ВП. На виході ВП також

з'являється одиничний сигнал при зникненні одного сигналу на вході ВП сигнал. На виході ВП становиться рівним нулю з витримкою часу на повернення ($t_{\Pi} = 4,5 \div 5\text{мс}$). Цей сигнал є вхідним сигналом для елемента ВС. Одиничний сигнал на виході ВС з'являється при наявності одиночного сигналу на вході ВС на протязі часу, що перевищує уставку елемента ВС на $t_{CP} = 21 \div 23\text{мс}$. Цей сигнал підсилюється підсилювачем П і захист через вихідне реле ВР спрацьовує.

При однополярному кидку струму намагнічування (рис. 3.2) тривалість пауз t_p на виході РФ більше витримки часу t_B та на виході елемента ВП з'являються паузи з періодом проходження, що дорівнює періоду промислової частоти. При цьому елемент ВС з установкою спрацьовування t_{CP} більше 20 мс не спрацьовує – сигнал рівний нулю. При синусоїдальному струмі (рис. 3.3) тривалість пауз на вході РФ залежить від відношення амплітуди струму i_p до струму спрацьовування i_{CP} . Якщо $t_{\Pi} < t_{CB}$, то виході ВС з'явиться одинокий безперервний сигнал. Через час t_{CP} на виході ВС з'являється сигнал, що приводить до спрацьовування захисту. При КЗ в зоні захисту умова $t_{\Pi} < t_{CB}$ дотримується та реле спрацьовує.

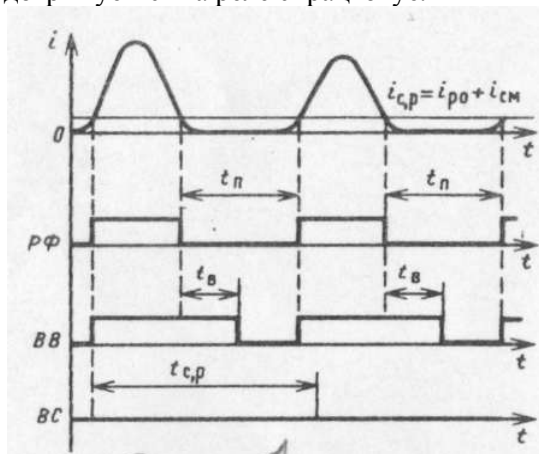


Рисунок 3.2 - Часова діаграма роботи реагуючого органу захисту при однополярному кидку струму намагнічування

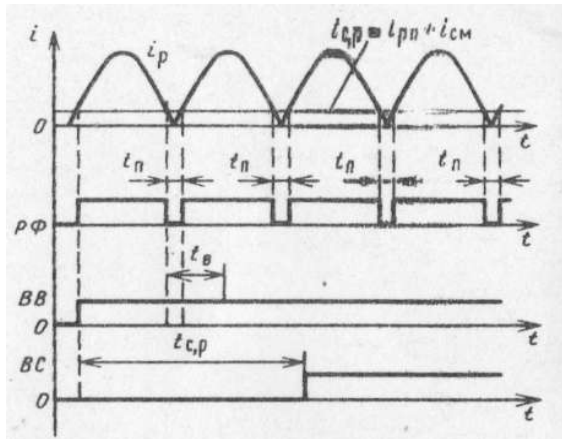


Рисунок 3.3 – Часова діаграма роботи органу захисту при синусоїдальному струмі КЗ у зоні, що захищається

4 Проведення роботи

4.1 Схема лабораторного стенда

На рис. 4.1 приведена схема лабораторного стенда.

Силовий трансформатор, що захищається, має схему з'єднань обмоток Y/Δ - 11. Вектори струмів в обмотках трансформатора вищої та нижчої напруги зміщені по фазі на кут 30° . Для компенсації фазного кута вторинні обмотки комплектів трансформаторів струму включені за зворотними електричними схемами: в «трикутник» з боку ВН трансформатора, обмотки якого з'єднані у «зірку»; та в «зірку» з боку обмотки НН трансформатора, що з'єднана на у «трикутник».

Силовий трансформатор на лабораторному стенді отримує живлення від трифазної мережі напругою 380 В. в нормальному режимі роботи трансформатор завантажений пофазно трьома активними опорами. Імітація КЗ в зоні та поза зоною здійснюється включення опору R на виводах обмоток НН силового трансформатора – в зоні захисту, та за трансформаторами струму – поза зоною захисту.

Високовольтний вимикач імітується магнітним пускатчем QYA , який виключається, та включається за допомогою кнопок $SB1$ та $SB2$.

4.2 Проведення роботи

Силовий трансформатор, що випробується, знаходиться під лабораторним стендом. Силова частина – первинні кола силового трансформатора первинні обмотки трансформаторів струму та опори навантаження силового трансформатора, зібрані та підключені до магнітного пускатча. Ця зборка виконана в стенді. На зовнішній панелі стенда необхідно зібрати схему підключення вторинних кіл двох комплектів трансформаторів струму, підключити вимірювальні прилади (по фазі A), та підвести контакти до блоків диференційного реле типу ДЗТ – 21. Підключити обмотку реле KL . Схема сигнальних ланцюгів HLC_1 та HLC_2 , кнопок виключення $SB1$ та відключення $SB2$ та контактів реле зібрана (зборка виконана з внутрішньої сторони стенда), та приєднана до джерела оперативного струму.

Після перевірки схеми викладачем та її опробування бригада студентів допускається до проведення лабораторної роботи. Необхідно привести наступні дії:

1. Подати живлення на силовий трансформатор – включити автоматичний вимикач *SF1*.

2. Впевнитись, що рубильник *S* (пакетний вимикач) відключений, (знаходиться у нейтральному положенні) кнопкою *SB1* увімкнути магнітний пускач *QYA*.

3. Записати показники приладів *PA1*, *PA2*, *PA3* – робочий режим роботи силового трансформатора.

4. Включити струм оперативного живлення - увімкнути автомат *SF2*.

5. Провести дослід роботи схеми при КЗ поза зоною - виключити рубильник *S2* (пакетний вимикач в положенні "КЗ поза зоною"). При цьому досліді повинно бути зафіксовані покази приборів *PA1*, *PA2*, *PA3*. Причому кожен член бригади студентів слідкує тільки за одним приладом, та швидко знімає покази. Дослід проводиться короткочасно, тому після швидкого зняття показів приладів, рубильник *S* відключається (пакетний вимикач ставиться у нейтральне положення).

6. Провести дослід роботи схеми при КЗ в зоні захисту – включити рубильник *S1* (пакетний вимикач перевести в положення "КЗ в зоні захисту"). При цьому спрацьовує реле *KA*, замикає свій контакт, отримує живлення, проміжне реле *KL*, розмикає свій контакт. При цьому втрачає живлення обмотка магнітного пускача *KQA*, то своїми контактами вимикає силовий трансформатор від джерела живлення.

5 Зміст звіту

- 5.1 Мета роботи.
- 5.2 Схема проведення дослідів.
- 5.3 Стислий опис проведеної роботи.
- 5.4 Висновки.

6 Питання для самоперевірки

- 6.1 Принципи дії диференційного захисту.
- 6.2 Особливість диференційного захисту силових трансформаторів.
- 6.3 Робота схеми диференційного захисту на базі реле ДЗТ-21.
- 6.4 Яким чином підвищується чутливість дії диференційного захисту при застосуванні реле ДЗТ-21?

Перелік джерел посилань

1. Правила улаштування електроустановок: Глава 3.2. Релейний захист. Київ : Мінпаливенерго України НПЦР, 2017, С. 384-427.
2. Реле струму диференціальні ДЗТ-11, 21, 23, РНТ-565, 566, 567. Виробниче об'єднання «Енергомаш», м. Харків. URL. <https://energomashcom.com/ukr/product/rele-toka-differencialnye-dzt-11-21-23-rnt-565-566-567>
3. Яндульський О.С., Дмитренко О.О. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем : навч. посіб. 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. посіб. Львів : Львівської політехніки, 2015. 504 с.
5. Махлін П.В., Шрам О.А., Іваненко Є.П. Конструкції та принципи дії реле на різних елементних базах : навч. посіб. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020, 112 с.