

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт

**№3 «МАКСИМАЛЬНИЙ СТРУМОВИЙ СПРЯМОВАНИЙ
ЗАХИСТ»,**

**№4 «ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ ЗАХИСТ СИЛОВОГО
ТРАНСФОРМАТОРУ»**

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

Методичні вказівки до лабораторних робіт №3 «Максимальний струмовий спрямований захист», №4 «Диференційний захист силового трансформатору» з дисципліни «Основи релейного захисту та автоматики» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка» денної та заочної форм навчання / Укл. :П.В. Махлін, О.А. Шрам, О.І. Кузьменко – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2026. – 19с.

Укладачі: П.В. Махлін, доцент, канд. техн. наук
О.А. Шрам, зав. кафедри ЕПП, канд. техн. наук
О.І. Кузьменко, зав. лаб.

Рецензент: Кулагін Д.О. доктор техн. наук, професор

Відповідальний за випуск: О.А. Шрам, в.о. зав. кафедри, к.т.н..

Рекомендовано
на засіданні НМК
«Електротехнічного
факультету»
Протокол №10 від 21.05.26

Затверджено
На засіданні кафедри
“Електропостачання
промислових
підприємств”
Протокол № 10 від 20 .05.2026

ЗМІСТ

с

1. Лабораторна робота №3 «МАКСИМАЛЬНИЙ СТРУМОВИЙ СПРЯМОВАНИЙ ЗАХИСТ».....	4
1.1 Мета роботи.....	4
1.2 Програма роботи.....	4
1.3 Короткі теоретичні відомості.....	4
1.4 Порядок проведення робіт.....	7
1.5 Зміст звіту.....	9
1.6 Питання до самоперевірки.....	9
2 Лабораторна робота №4 «ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ ЗАХИСТ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРУ».....	11
1.1 Мета роботи.....	11
1.2 Програма роботи.....	11
1.3 Короткі теоретичні відомості.....	11
1.4 Порядок проведення робіт.....	12
1.5 Зміст звіту.....	18
1.6 Питання до самоперевірки.....	18
Перелік джерел посилання.....	19

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

«МАКСИМАЛЬНИЙ СТРУМОВИЙ СПРЯМОВАНИЙ ЗАХИСТ»

1.1 Мета роботи

Ознайомитися з принципами побудови струмового направленого захисту й вивчити схему максимального струмового направленого захисту.

1.2 Програма роботи

1.2.1 Використовуючи [1, 2, 3] вивчити будову, принципи виконання й галузі застосування струмового направленого захисту.

1.2.2 Вивчити схему лабораторного стенда.

1.2.3 Зібрати схему максимального струмового направленого захисту та перевірити його роботу.

1.3 Короткі теоретичні відомості

1.3.1 Максимальний струмовий спрямований захист (МССЗ) належить до захисту, який реагує на величину струму та його напрям (знак потужності КЗ) в місці їх встановлення. Захист починає діяти при дотриманні двох умов: струм у лінії, що захищається, перевищує струм спрацьовування та знак потужності КЗ відповідає напрямку дії захисту. Основною галуззю застосування МССЗ є розподільні мережі з двостороннім живленням, а також складні мережі з одним або декількома джерелами живлення. Це пояснюється тим, що в цих мережах досягнути селективної дії неспрямованого максимального струмового захисту неможливо. На рис. 1.1 надана схема радіальної мережі з двостороннім живленням. При короткому замиканні на першій лінії (К1), у загальному випадку прийдуть до дії струмові органи обох ліній. Для селективного вимикання пошкодженої ділянки (лінія АБ) необхідне виконання наступної умови:

$$t_2 < t_3 < t_4.$$

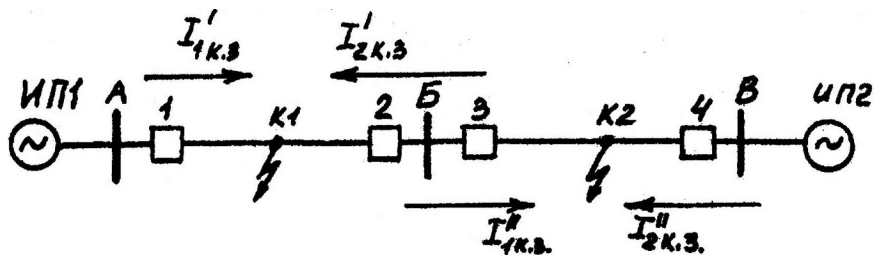


Рисунок 1.1 – Напрямок струмів КЗ в лінії з двостороннім живленням

При КЗ в точці К2 для забезпечення селективності повинна виконуватися умова:

$$t_3 < t_2 < t_1 \quad (1.1)$$

Таким чином, до захистів 2 та 3 ставляться суперечливі вимоги.

Введення в схему захисту органу направлення потужності дозволяє здійснити селективне вимикання пошкодженої ділянки. З векторних діаграм напруги та струму (рис. 1.2, 1.3) видно, що фаза струму, а значить і потужності КЗ у місці встановлення захистів відносно напруги на шинах підстанції Б при переміщенні КЗ з точки К1 у точку К2 змінилася на 180° . При цьому за позитивний напрямок струму (потужності КЗ) приймається напрямок від шин до лінії.

Захист 2 спрацьовує при позитивному напрямку струму через нього (КЗ в точці К1), цей же струм для захисту 3 має негативний напрямок, отже, реле направлення потужності цього захисту не буде спрацьовувати. При КЗ в точці К2 струм КЗ має негативний напрямок для захисту 2 і позитивний для захисту 3. Внаслідок цього спрацьовує тільки захист 3.

Погодження часу дії захистів суміжних ділянок здійснюється за зустрічно-ступеневим принципом.

Струм спрацьовування МССЗ, як і струм спрацьовування звичайного максимального струмового захисту знаходиться за виразом:

$$I_{с.з.} = \frac{1}{K_{нов}} \cdot K_n \cdot K_{сд} \cdot I_{роб.макс.} \quad (1.2)$$

де $K_n = 1,1 \div 1,2$ – коефіцієнт надійності (запасу);

$K_{сд} = 2 \div 3$ – коефіцієнт самозапуску загальмованого навантаження;

$K_{пов}$ – коефіцієнт повернення захисту (пускового органу захисту);

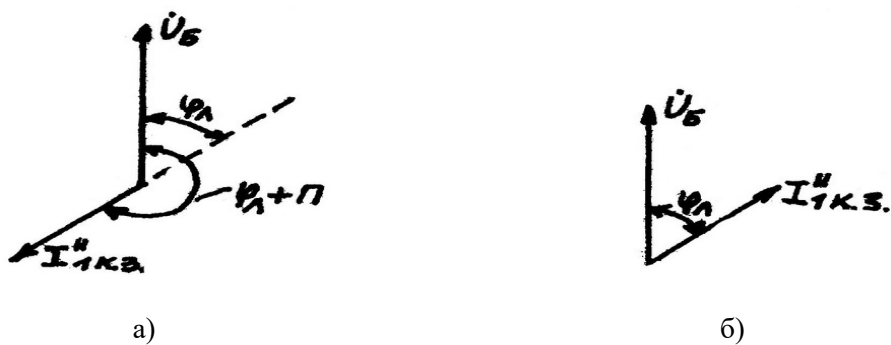
$I_{роб. макс.}$ – максимальний робочий струм у лінії, що захищається.



а – захист 2

б – захист 3

Рисунок 1.2 Векторні діаграми для захистів 2 та 3 при КЗ у точці К1



а – захист 2

б – захист 3

Рисунок 1.3 Векторні діаграми для захистів 2 та 3 при КЗ у точці К2

1.4 Порядок проведення робіт

На рис. 1.4 приведена схема лабораторного стенда. Ця схема імітує МСНЗ лінії з двостороннім живленням від джерел $C1$ і $C2$ (рис. 1.5). На рис. 1.6 приведена схема оперативних ланцюгів. Досліджуваний МССЗ складається з двох ідентичних комплексів, які встановлені поблизу вимикачів $Q1$ і $Q2$. При КЗ у зоні дії захисту 1 (КЗ імітується включенням опору $R_{кз}$, за допомогою рубильника $S1$) потужність КЗ для цього захисту направлена від шин до лінії. Реле $KA1$ і $KA2$ замикають свої контакти, подається живлення на $KT1$ і через відрізок часу, який визначається установкою $KT1$, вимикається вимикач $Q2$. Дія захисту 2 (при КЗ а в точці $K2$ імітується включенням рубильника $P2$) аналогічно описаному вище.

Пусковими органами в схемі МССЗ є струмові реле $KA1$ і $KA2$ типу РТ-40/10, які включені через трансформатори струму $TA1$ і $TA2$. В якості органу напрямку потужності $KWZ1$ і $KWZ2$ використовуються реле потужності типу РМБ-171/1, струмові обмотки яких включаються послідовно з відповідними струмовими реле, а обмотки напруги підключені до трансформатора напруги TV . Реле потужності включені по 90-градусній схемі.

При збиранні схеми необхідно звернути увагу на полярність підключення обмотки реле потужності. Реле $KWZ1$ повинно замикати свої контакти при КЗ у точці $K1$, а $KWZ2$ при КЗ у точці $K2$. У випадку неправильної дії $KWZ1$ ($KWZ2$) необхідно поміняти полярність обмотки струму або напруги відповідного реле.

Послідовність включення стенда

1 Зібрати схему і після перевірки її викладачем включити автомати $SF1$ і $SF2$.

2 Перевірити вимкнений стан рубильників $S1$ і $S2$, що імітують КЗ, включити вимикачі $Q1$ і $Q2$. Переконавшись за показаннями приборів $A1$, $A2$ і V , що схема знаходиться в нормальному режимі.

3 Провести імітацію КЗ спочатку в точці $K1$ (за допомогою $S1$), потім в точці $K2$ (за допомогою $S2$). Звернути увагу на показання вольметра V підчас роботи реле $KT1$ ($KT2$).

УВАГА! Після імітації КЗ у точці $K1$ ($K2$) і спрацювання захисту необхідно вимкнути рубильник $S1$ ($S2$), включити вимикач, а потім проводити наступне випробування: КЗ у другій точці.

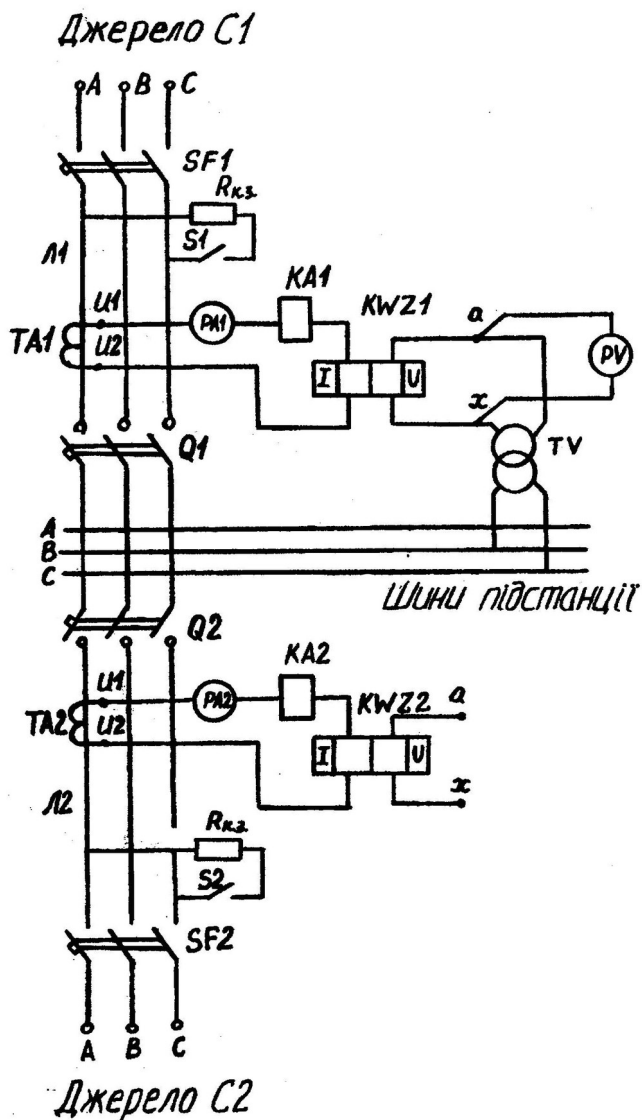


Рисунок 1.4 – Схема лабораторного стенду максимального струмового спрямованого захисту

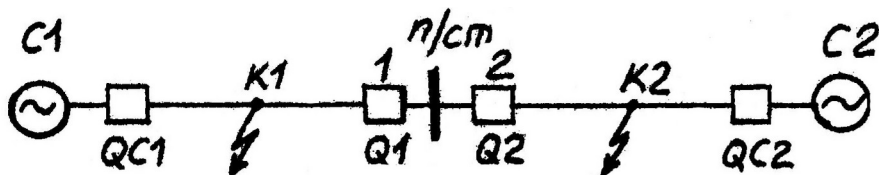


Рисунок 1.5 – Однолінійна схема лабораторного стенду

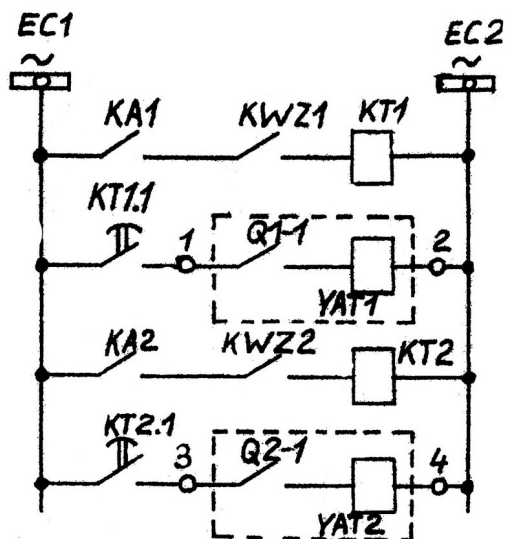


Рисунок 1.6 – Схема оперативного струму максимального струмового спрямованого захисту на лабораторному стенді

1.5 Зміст звіту

1.5.1 Теоретична частина.

1.5.2 Принципова схема струмових ланцюгів МССЗ і схема оперативних ланцюгів.

1.5.3 Опис проведених дослідів з показаннями приладів у нормальному режимі та при КЗ.

1.5.4 Висновки

1.6 Питання для самоперевірки

1.6.1 Устаткування та принцип дії реле напрямку потужності.

1.6.2 Поясніть зустрічно-ступеневий принцип вибору витримок часу для МССЗ.

1.6.3 Що називається мертвою зоною реле напрямку потужності?

1.6.4 Поясніть роботу схеми МССЗ.

1.6.5 Які фактори приймаються до уваги при розрахунки установок спрацьовування захисту?

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

"ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ ЗАХИСТ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА"

2.1 Мета роботи

Ознайомитися з принципами будови диференційних захистів та вивчити схему повздовжнього диференційного захисту силового трансформатору.

2.2 Програма роботи

2.2.1 Вивчити принципи виконання та галузі застосування диференційних захистів.

2.2.2 Вивчити схему лабораторного стенда.

2.2.3 Провести дослідження роботи диференційного захисту трансформатора на реле РТ-40

2.2.4 Вивчити реле принцип та конструкцію реле РНТ-565 та ДЗТ-11.

2.2.5 Провести дослідження роботи схеми диференціального захисту на основі реле РНТ-565

2.3 Короткі теоретичні відомості

Диференційні струмові захисти базуються за принципом порівняння струмів за величиною та фазою на початку і в кінці ділянки, що захищається. Розрізняють повздовжні та поперечні струмові захисти. Якщо струми на межі ділянки, що захищається, однакові, захист не повинен спрацювати.

Повздовжній диференційний захист поширено застосовується для захисту від внутрішніх пошкоджень генераторів, двигунів, трансформаторів, ліній електропостачання.

Поперечний диференційний захист використовується для захисту паралельних ліній електропередач, паралельних гілок обмоток електричних машин і т. ін.

На рис. 2.1 подана схема повздовжнього диференційного захисту з циркулюючими струмами, коли вторинні обмотки двох трансформаторів струму ТА1 та ТА2, встановлених на межі зони захисту, включені зустрічно-паралельно.

На практиці частіше застосовують схему з циркулюючими струмами, де при нормальному режимі та замиканні поза зоною захисту струми в обмотці реле рівні й протилежно спрямовані. При пошкодженні у зоні захисту можливі два випадки:

- при односторонньому живленні струм з боку джерела зростає, а з боку споживача зменшується. При цьому з'являється струм небалансу в реле, що викликає спрацювання реле та захисту в цілому;

- при двосторонньому живленні струм з боку другого джерела змінить свій напрямок, струми реле будуть складатися, що також приведе до спрацювання реле. Ці режими роботи диференційного захисту приведені на векторних діаграмах рис 2.1.

Рівність величин вторинних струмів трансформаторів струму витримати складніше, так як коефіцієнти трансформації силових трансформаторів, та співвідношення коефіцієнтів трансформації трансформаторів струму часто не співпадають. У трансформаторі з регулюванням напруги коефіцієнти трансформації, взагалі, змінні величини. Тому застосовуються додаткові зрівняльні трансформатори (автотрансформатори) у вторинних колах захисту, або загробується захист з метою відбудови його від струмів небалансу. Для приведеної на рис. 2.2 схеми органи KA_A , KA_B , KA_C необхідно відстроювати також від кидка струму намагнічування, що виникає в момент включення силового трансформатора (до $3 \div 5$ значень номінального струму).

2.4 Порядок проведення робіт

2.4.1 На рис. 2.2 приведена схема лабораторного стенда. Силкові трансформатори мають схему з'єднань Y/Δ - Y/Δ -11. Вектори струмів в обмотках на первинній та вторинній сторонах здвинуті за фазою на 30° . Для компенсації фазного зсуву вторинні обмотки двох комплектів трансформаторів струму включені за зворотною схемою Δ/Y .

зібрати схему підключення вторинних кіл двох комплектів трансформаторів струму; підключити вимірювальні прилади, пускові органи KA_A , KA_B , KA_C ; підключити контакти вказаних реле до кола обмотки реле KL , та з'єднати це коло з джерелом оперативного струму: приєднати до рубильника S точки a , b та a' , b' .

Після перевірки схеми викладачем необхідно:

- увімкнути автомат $SF1$;
- впевнитись, що вимикач S , та автомат $SF2$ відключені і увімкнути пускач QY_A кнопкою $SB1$;
- записати показання приладів $\bar{P}A1$, $\bar{P}A2$, $\bar{P}A3$, при номінальному режимі роботи силового трансформатора;
- увімкнути автомат $SF2$;
- за допомогою вимикача S провести КЗ поза зоною захисту й записати показання амперметрів;
- провести КЗ у зоні захисту та подивитися на спрацювання захисту.

2.4.2 Диференційний захист трансформатора на основі реле РНТ-565 та ДЗТ-11.

Більш ефектнішим засобом вирівнювання струмів у плечах захисту застосування спеціальних диференційних реле РНТ-565 та ДЗТ-11 з проміжним трансформатором струму, що швидко насичується, (ШНТ). Крім основної (робочої або диференційної) обмотки, ШНТ має дві зрівняльні обмотки, відпайки яких виведені на спеціальні панелі.

Реле РНТ-565 має дві короткозамкнуті обмотки, а реле ДЗТ-11 має дві гальмові обмотки, які розташовані на крайніх стрижнях. Регулювальні гвинти дозволяють підібрати потрібну кількість витків вказаних обмоток. У схемі диференційного захисту обмотки включаються таким чином, щоб у нормальному режимі та при зовнішніх КЗ сума намагнічуючих сил дорівнювала б нулю, або була б мінімальною, а струм у вторинній обмотці, підключеної до реле, струм наближається до нуля.

Схема захисту з реле РНТ-565 приведена на рис. 2.3 (для однієї фази). У схемі використовуються два трансформатора струму $TA1$, $TA2$. Струми від вторинних обмоток $TA1$ та $TA2$ подаються на робочу та першу зрівняльну обмотки, які включені зустрічно. Вторинні обмотки трансформаторів струму в фазах В і С необхідно закоротити.

Збірка й порядок вмикання не відрізняється від вище описаного. Налаштування схеми проводиться шляхом підбору кількості витків зрівняльної обмотки доки показання амперметра $\bar{P}A3$ не будуть мінімальними (мінімум величини струму небалансу). Після налаштування необхідно перевірити роботу захисту у нормальному режимі роботи, при зовнішні к.з та при к.з. у зоні захисту. Записати показання приладів.

УВАГА! Переключення кількості витків зрівняльної обмотки за допомогою регулювального гвинта проводити тільки при вимкненому стенді.

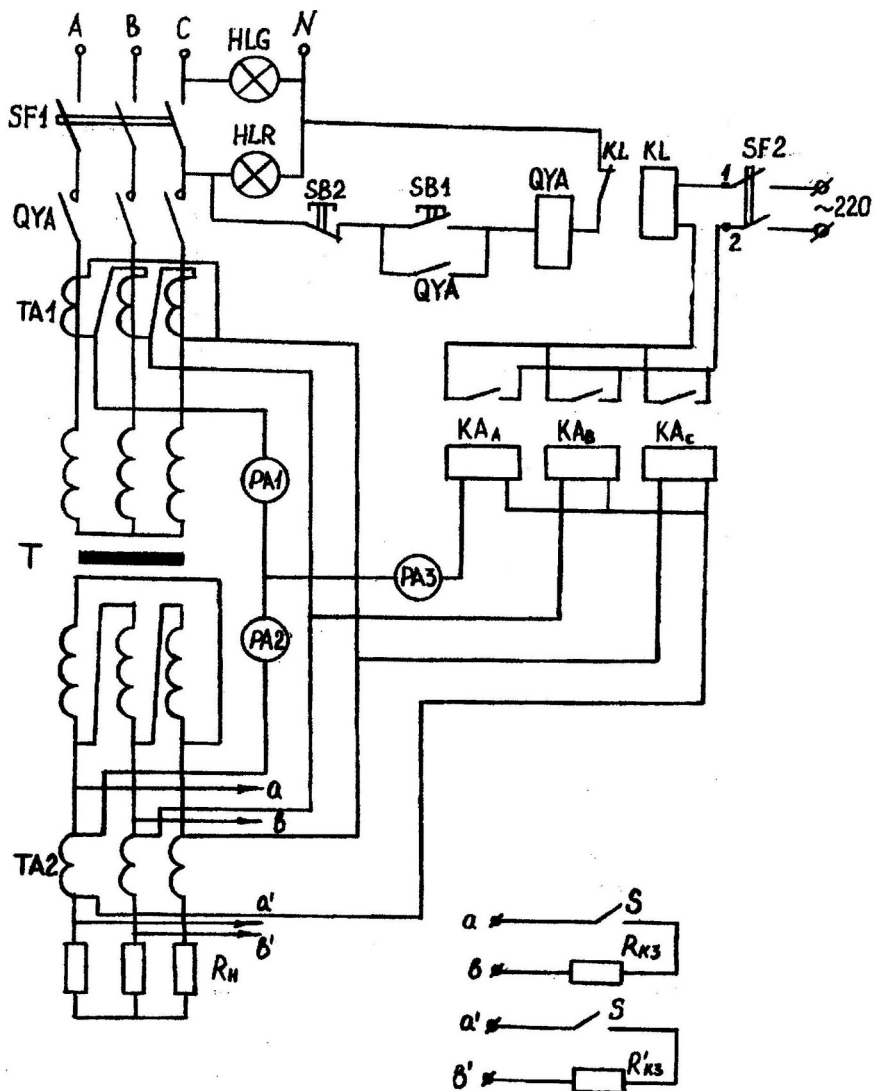


Рисунок 2.2 – Схема диференційного захисту на основі реле РТ-40

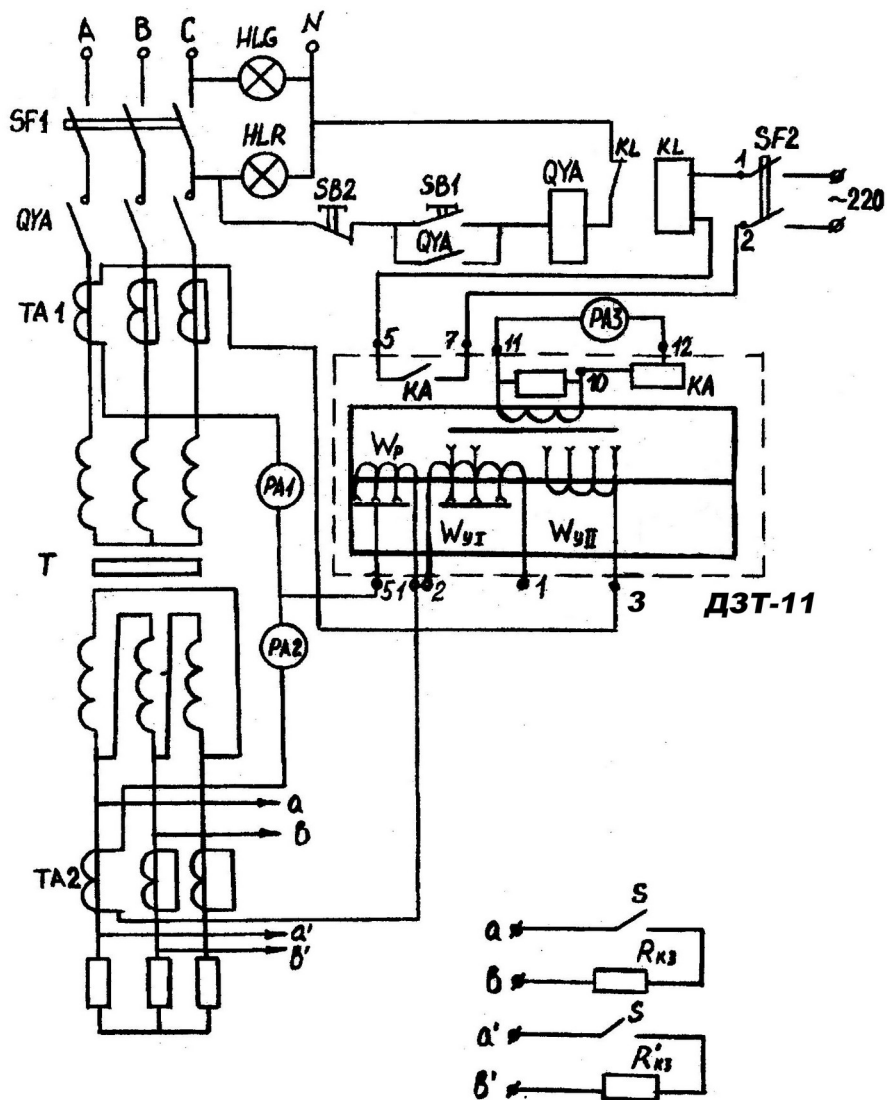


Рисунок 2.3 – Схема диференційного захисту на реле РНТ-565

2.5 Зміст звіту

2.5.1 Теоретична частина.

2.5.2 Схеми диференційних захистів (рис. 2.2, 2.3).

2.5.3 Опис проведених дослідів з показаннями приладів у нормальному режимі та при КЗ.

2.5.4 Висновки

2.6 Питання для самоперевірки

1. Принцип дії диференційного захисту
2. Особливості диференційного захисту трансформатору?
3. Поясніть роботу схеми захисту на базі реле РНТ-565.
4. Будова та принцип дії реле РНТ-565 та ДЗТ-11.
5. Пояснити роботу схеми захисту на базі реле ДЗТ-11.
6. Чому захист на реле РТ-40 має меншу чутливість, ніж захист на реле РНТ-565 та ДЗТ-11.

Перелік джерел посилання

1. Правила улаштування електроустановок: Глава 3.2. Релейний захист. Київ : Мінпаливенерго України НПЦР, 2017 , С. 384-427.
2. Яндутьський 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>
3. Кідиба В. П Релейний захист електроенергетичних систем: навч. посіб. Львів : Львівської політехніки, 2015. 504 с.
4. Ніценко В.В., Кулагін Д.О., Махлін П. В. Дослідження похибок трансформаторів струму у системах релейного захисту в усталених та перехідних режимах енергосистеми / Електротехніка та електроенергетика. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – С. 87-94.