

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Електроенергетики

(інститут)

Електротехнічний

(факультет)

Кафедра Електроенергетики

(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Чеберячко Ігоря Вадимовича

(ПІБ)

академічної групи 141-16-1

(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації¹

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему «Реконструкція релейного захисту та автоматики синхронного електродвигуна потужністю 800 кВт насосної станції № 3 каналу «Дніпро - Західний Донбас»

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи				
розділів:				
Технічний розділ				
Спеціальний розділ				
Охорона праці				
Економічний				
Рецензент				
Нормоконтролер				

Дніпро
2020

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

електроенергетики

(повна назва)

Рогоза М.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2020 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеню ____ бакалавра ____
 (бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Чеберячко І.В. академічної групи 141-16-1
 (прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації¹ _____

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему «Реконструкція релейного захисту та автоматики синхронного електродвигуна потужністю 800 кВт насосної станції № 3 каналу «Дніпро - Західний Донбас»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____,

Розділ	Зміст	Термін виконання
Технічний розділ	Визначення основних даних проекту	
Спеціальний розділ	Розрахунок параметрів релейного захисту	
Охорона праці	Заходи щодо техніки безпеки на ПС	
Економічний	Розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат	

Завдання видано _____

(підпис керівника)

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 20.04.2020.

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання _____

(підпис студента)

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Мета роботи: Реконструкція пристрою релейного захисту та автоматики синхронного електродвигуна насосного агрегату потужністю 800 кВт напругою 6 кВ " Дніпро - Західний Донбас" станція номер 3

У вступі приведені основні дані про об'єкт реконструкції.

У технічному розділі визначаються тип релейного захисту, головні розрахункові дані, та вибір вимірювальних трансформаторів для ланцюгів струму та напруги.

Спеціальний розділ містить в собі розрахунок параметрів релейного захисту, уставок максимального струмового захисту та струмової відсічки.

Розділ охорони праці містить в собі розрахунок захисного заземлення та описані заходи щодо безпечного виконання робіт, послідовність дій під час пожежі.

Економічний розділ містить в собі розрахунок капітальних витрат та можливих експлуатаційних витрат на розробку системи релейного захисту.

Зміст

РЕФЕРАТ	3
Зміст	4
ВСТУП.....	6
1 ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Опис конструкції реле типу РС 80.....	10
1.2 Опис конструкції реле типу ЗЗН2.....	12
1.3 Опис конструкції мікропроцесорного терміналу типу РС 83	16
2 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	16
2.1 Розрахунок параметрів релейного захисту	17
2.1 Захист силового трансформатору 110/10 кВ	37
2.1.1 Струмівий захист сторони ВН.....	39
2.1.2 Струмівий захист сторони НН	40
2.2 Захист приєднань 10 кВ	41
3 РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ	43
3.1 Вступ.....	44
3.2 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів підстанції	44
3.3 Інженерно – технічні заходи з охорони праці на підстанції.....	44
3.4 Розрахунок заземлення	45
3.5 Безпека при надзвичайних ситуаціях	48
3.6 Вимоги до пожежної безпеки підстанції.....	49
4 ЕКОНОМІЧНИЙ	50
4.1 Вступ.....	51
4.2 Розрахунок капітальних витрат.....	52
4.3 Розрахунок експлуатаційних витрат.....	54
4.3.1 Визначення амортизаційних відрахувань	54
4.3.2 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт	55
4.4 Висновки	58
Висновок.....	59
Список літератури	60
Додаток А	62
Рецензія на дипломний проект	63

ВСТУП

Будь-якій енергетичній системі потрібен надійний захист від пошкоджень під час аварійних режимів, що можуть бути викликані як ненормальними режимами мережі живлення, так і помилковими діями персоналу. У зв'язку з цим і виникає необхідність створення і застосування автоматичних пристроїв, що виконують зазначені операції і захищають систему і її елементи від небезпечних наслідків. Важливу роль при цьому відіграють пристрої релейного захисту та автоматики. Релейний захист здійснює безперервний контроль за станом і режимом роботи всіх елементів системи та реагує на виникнення порушень. У разі виникнення ненормальних режимів релейний захист виявляє їх і в залежності від характеру порушення виконує операції, необхідні для відновлення нормального режиму або подає сигнал черговому персоналу. Релейний захист - основний вид електричної автоматики, без якої неможлива нормальна і надійна робота енергетичних систем.

Основне завдання релейного захисту – максимально швидко виявлення пошкодженої ділянки мережі та її знеструмлення для запобігання наслідків. Однак не завжди ненормальні режими можуть становити небезпеку для обладнання і можуть самоліквідуватися. Саме в таких випадках система релейного захисту та автоматики повинна лише видати відповідний сигнал черговому персоналу, який в свою чергу прийме правильне рішення щодо поточного стану мережі. В іншому випадку, коли ділянка мережі дійсно має небезпечне пошкодження, важливу роль відіграє одна з характеристик релейного захисту – швидкість спрацювання. Система автоматики повинна максимально швидко вимкнути пошкоджене обладнання, що запобігає катастрофічним наслідкам та зберігає цілісність мережі і навіть її працездатність. Тривале протікання струму короткого замикання має негативний вплив на інші ділянки мережі, трансформатори, що може призвести до їх невідновного термічного пошкодження.

Інша важлива характеристика системи релейного захисту на автоматики – селективність, відповідає за можливість системи виявити та максимально точно вимкнути пошкоджену ділянку, використовуючи найближчі вимикачі. За принципом дії система релейного захисту може мати абсолютну та відносну селективність. При проектуванні також слід правильно врахувати чутливість релейного захисту. В найпростішому вигляді неправильно розрахована чутливість може призводити до неправильного спрацьовування вимикача при запуску двигуна чи іншого обладнання, що має значний пусковий струм, який помилково сприймається захистом як коротке замикання. Однак в найгіршому випадку занадто груба чутливість може стати причиною значних пошкоджень коли захист не відреагував на справжнє коротке замикання.

Насосні станції старого зразку мають прості засоби захисту та контролю стану двигунів в вигляді системи реле. В сучасному варіанті систему реле замінює мікропроцесорний термінал, який забезпечує більш доскональні засоби контролю справності мережі, при цьому, простіший в налагодженні, в деяких режимах надійніший та займає менше місця.

ДНІПРО–ДОНБАС КАНАЛ – водопостачальний канал, що бере початок з Дніпродзержинського водосховища на території Дніпропетровської, Харківської та Донецької областей. Призначений для забезпечення водою промислових центрів Донбасу і Харкова та зрошення прилеглих територій.

Рівень води в ньому переважно відповідає рівню ґрунтових вод, що забезпечує мінімальні витрати на фільтрацію і запобігає підтопленню навколишніх земель. Основні гідротехнічні споруди каналу: водозабір з рибозагороджувачем і планктонною завісою, 12 насос. станцій, 11 дюкерів і 5 акведуків, водоскид. тунель, регулююче Краснопавлівське водосховище, 12 гребель-перепадів. Насосні станції піднімають воду по трасі каналу на вис. 68,8 м. Поперечний профіль каналу трапецієподібний, глибина каналу – 5,0–5,5 м, швидкість течії – до 0,65 м/сек.

На насосних станціях використовуються синхронні двигуни з тиристорним збудженням або частотним регулюванням потужності, потужністю від 1 кВт до 1 МВт. Важливий момент при експлуатації насосної станції – її енергоефективність.

Насосні станції можуть мати резервування, що забезпечують водопостачання при плановому чи неплановому обслуговуванні основного агрегату. Якщо на насосній станції використовується електрообладнання з імпульсними джерелами живлення (комп'ютери, контролери, потужне світлодіодне освітлення), то встановлюється фільтр низької частоти (RFI-фільтр).

При ненормальних режимах мережі надійний захист обладнання забезпечує релейний захист. Обладнання для захисту забезпечує вимикання аварійних областей системи, що можуть виникати при пошкодженнях ізоляції, провідників, неправильних помилкових діях персоналу. Типові ситуації, які можуть виникнути при ненормальних режимах мережі:

- обрив фази живлення двигуна
- коротке замикання на землю
- міжфазне коротке замикання
- коротке замикання двигуна
- перегрів двигуна
- грозові та перехідні перенапруги в мережі

Захист забезпечують релейні системи або мікропроцесорні термінали.

Для підтримки обладнання в нормальному стані проводяться планові обслуговування та ремонт насосних станцій. Суть профілактичного ремонту полягає в тому, що після заздалегідь певній напрацювання устаткування або ділянки мережі проводяться планові огляди, перевірки, випробування і ремонт, які забезпечують нормальну подальшу роботу устаткування мережі.

ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Опис конструкції електростатичного реле струму типу РС80М2 для захисту синхронного двигуна потужністю 800 кВт

Реле РС80 призначені для використання в схемах релейного захисту і протиаварійної автоматики для захисту електричних машин, трансформаторів і ліній електропостачання при коротких замиканнях, перевантаженнях та інших ненормальних режимах мережі. Реле РС80М2 являє собою статичне реле без додаткового джерела живлення. Для живлення елементів схеми використовується вхідний струм. Додаткове живлення (постійний чи змінний струм 220В) потрібне лише для забезпечення функцій АПВ.

Реле забезпечує:

- максимальний струмовий захист з незалежною і двома залежними характеристиками спрацювання;
- струмову відсічку з затримкою 70-100 мс або 150-200 мс, яка задається на передній панелі;
- можливість вимикання струмової відсічки на передній панелі реле;
- функцію однократного АПВ;
- індикацію наявності струму в вхідних ланцюгах реле;
- індикацію готовності АПВ;
- сигналізацію роботи АПВ;
- можливість внутрішнього або зовнішнього пуску АПВ;

$$t = \frac{0.14 \times K}{(I/I_y)^{0.02} - 1} \times t_y$$

$$t = \frac{13.5 \times K}{(I/I_y) - 1} \times t_y$$

де: t – теоретичний час спрацювання, с;

t_y – уставка часу спрацювання, тобто теоретичний час спрацювання для $I = 10I_y$, с;

I – вхідний струм реле, А;

I_y – уставка струму спрацювання, А;

K – коефіцієнт, значення якого визначається відношенням I/I_y , для якого нормується t_y , для $I/I_y = 10$ характеристики (2) $K = 0.3366$, а для характеристики (3) $K = 0.6667$.

Опис конструкції реле

Реле виготовлене в прямокутному пластмасовому корпусі розмірами $125 \times 195 \times 127 \text{ мм}^3$, яке складається з основної частини і кришки. Всередині корпусу розташовані: вертикально – плата реле; горизонтально – плати уставок і вхідна. Плати закріплені на двох вертикальних пластинах і з'єднані між собою провідними перемичками. Над платою уставок розміщена панель з маркуванням і отворами для встановлення з'ємних перемичок у відповідні гнізда для визначення уставок. На панелі закріплена гвинтами змінна планка з маркуванням для встановлення уставки струму спрацювання. Зайві планки, що не були використані, закріплені гвинтами на кутниках під платою уставок. Справа на платі уставок знаходяться гнізда для зберігання невикористаних з'ємних перемичок. Вхідні трансформатори ТТ1, ТТ2 встановлені на бічних кронштейнах реле. Кришка корпусу виготовлена з прозорої пластмаси, що дозволяє візуально контролювати положення з'ємних

перемичок в гніздах передньої панелі. Кришка закріплена двома гвинтиками, які можуть бути використані користувачем для пломбування під час експлуатації. Зовнішні підключення реле виконуються відповідно додатку 2 за допомогою ряду клемних затискачів на зовнішній стороні корпусу. Схема підключення реле вказана на шильдику, розташованому на бічній стінці кришки корпусу над рядом клемних затискачів.

1.2 Опис конструкції та принципу дії реле ЗЗН2 для захисту синхронного двигуна та кабельної лінії від замикання на землю

Реле призначені для використання в схемах релейного захисту і протиаварійної автоматики в мережах з малими ємнісними струмами короткого замикання на землю з використанням кабельних трансформаторів нульової послідовності типу ТЗЛ, ТЗЛМ, ТЗ та інші. Умови експлуатації при впливі механічних факторів – група М39 ГОСТ 17516-72.

Номінальне значення кліматичних факторів повинні відповідати ГОСТ 15150-69.

При цьому:

- найбільша висота над рівнем моря – 2000 м;
- верхнє значення температури навколишнього середовища +50 С;
- нижнє значення температури навколишнього середовища -40 С;
- навколишнє середовище вибухобезпечне, не повинно містити струмопровідного пилу чи абразиву, агресивних газів та парів в такій концентрації, яка може пошкодити ізоляцію та конструкцію реле.

Технічні характеристики

Реле в залежності від набору функцій і значень параметрів випускається в декількох конструктивних виглядах і містить одну перемикаючу групу вихідних контактів, що спрацьовують відповідно до уставками захистів, і одну

пару вимикаючих вихідних контактів для сигналізації несправності самого пристрою.

Реле має вбудований контроль справності. Червоний світлодіод СРАБАТ сигналізує про спрацювання реле. Для вимикання світлодіоду СРАБАТ слід натиснути кнопку СБРОС. Стан світлодіоду зберігається після відключення напруги живлення.

Номінальна частота змінного струму – 50 Гц.

Діапазон уставок струму спрацювання нульової послідовності (первинний струм ТТНП):

- (0,2-0,95), крок 0,05 А при підключенні до клем 8, 10;
- (0,6-2,85), крок 0,15А при підключенні до клем 8, 9.

Примітки:

- 1) Регулювання і приймально-здавальні випробування реле на підприємстві-виробнику проводяться з ТТНП типу ТЗЛМ.
- 2) Можлива поставка за спецзамовленням реле з іншими діапазонами струму спрацювання ЗІо.

Таблиця 1

Модифікація	Уставки ЗІо, В	Направленість, град.
ЗЗН2-1	нема	нема
ЗЗН2-2	(15-52,5) шаг 2,5	нема
ЗЗН2-3	(15-52,5) шаг 2,5	70-180, 90-180 (два діапазону)
ЗЗН2-4	(15-52,5) шаг 2,5	10...180

Відносна похибка спрацювання в робочому діапазоні температур:

- $\pm 10\%$ - по $3I_o$, $3U_o$; - ± 10 град. - за спрямованістю.

Діапазон уставок часу спрацювання - (0,1-6,4) с. Дискретність - 0,1 с.

Номінальна напруга живлення – постійний або змінний струм значенням 220В.

Допустиме відхилення напруги живлення - $\pm 20\%$. На спецзамовлення можлива поставка з іншою напругою живлення.

Час спрацювання реле при номінальній напрузі живлення і двократному по відношенню до уставці струмі нульової послідовності - не більше 0,2 с.

Коефіцієнт повернення по току $3I_o$, напрузі $3U_o$ і фазі - не менше 0,95.

Коефіцієнт приглушення третьої гармоніки струму нульової послідовності - не менше ніж в 10 разів.

Комутаційна здатність контактів реле для активної та індуктивного навантаження ($\tau \leq 0,015$ з для постійного струму, $\cos\phi = 0,5$ - для змінного струму):

- змінний струм - потужність до 700 ВА при напрузі до 220В і струмі до 5А;
- постійний струм - потужність до 60 Вт при напрузі до 220В і струмі до 0,5 А.

Потужність, спожита від джерела живлення - 1 ВА.

Споживана потужність від джерела $3U_o$ при $3U_o = 15В$ - не більше 0,1ВА.

Термічна стійкість реле по входу $3I_o$:

- 50А (вхідний струм реле) - протягом 1с;
- 35А (вхідний струм реле) - протягом 2с;
- 40А (первинний струм ТТНП) – тривалий час.

Термічна стійкість по входу $3U_o$:

- 400В - протягом 2 с;

- 220В – тривалий час.

Маса - не більше 1 кг.

Габаритні і установочні розміри вказані в додатку 1.

Поверхня деталей з нестійких до корозії матеріалів має захисне покриття відповідно до ГОСТ 9.303-84, ГОСТ 9.032-74, ГОСТ 9.073-77.

Оболонка реле має ступінь захисту IP40, а затискачі для підключення зовнішніх провідників - IP00 відповідно до ГОСТ 14254-80. 3.23. Механічна зносостійкість реле - 100000 циклів спрацьовування.

Комутаційна зносостійкість реле при навантаженні не менш, ніж 10000 спрацьовувань.

При напрузі 10 В реле комутують мінімальний постійний або змінний струм 0,002 А. Опір ізоляції між ланцюгами реле, зазначеними в табл.1, при температурі навколишнього повітря $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ - 50 МОм. Електрична ізоляція між ланцюгами реле, при температурі навколишнього повітря $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, витримує протягом 1 хв. дію випробувальної напруги 1500 та 2000 В практично синусоїдальної форми частотою (45 - 65) Гц.

3.25. НР контакт реле при температурі навколишнього повітря $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ протягом 1 хв. витримують випробувальну напругу частотою (45 - 65) Гц, значення якого дорівнює 500В.

Середнє напрацювання на відмову - 20000 годин. Встановлений час напрацювання на відмову - 2000 годин. Середній термін служби - 15 років.

Вимоги до конструкції відповідають ГОСТ 12434-83. Затискачі реле пристосовані для приєднання не більше двох провідників 2 кожен. перетином 2,5 мм.

Опис конструкції і роботи реле

Реле виготовлено в прямокутному пластмасовому корпусі $70 \times 140 \times 136$ мм 3 (додаток 1), який складається з основи і знімною кришки. У верхній частині підстави встановлена плата уставок з важільними перемикачами для завдання (зміни) уставок. Кришка корпусу кріпиться до основи за допомогою двох гвинтів, один з яких пломбується мастикою. На верхній стороні кришки розміщена прозора панель, що дозволяє візуально визначати розташування перемикачів плати уставок.

1.3 Мікропроцесорний пристрій релейного захисту типу РС83

Мікропроцесорний пристрій релейного захисту РС83 призначений для використання в схемах РЗА електричних машин, трансформаторів, двигунів і ліній електропередачі для захисту їх від коротких замикань і від перевантажень, а також для управління вимикачем і телемеханіки приєднань.

Підключення всіх вхідних і вихідних ланцюгів пристрою (входи струмів фаз і струму нульової послідовності, входи напруги живлення, дискретних входів і релейних виходів, передачі даних) виконується за допомогою затискачів, розташованих на задній стінці.

Пристрої мають вбудовані вхідні узгоджувальні ТТ, призначені для перетворення сигналів і гальванічної розв'язки. Для індикації струмів і напруг в первинних величинах необхідно ввести уставки за відповідними коефіцієнтами трансформації трансформаторів струму (ТС) приєднання в меню пристрою.

Пристрій РС83 має вісім вихідних реле. Вихідні реле можуть працювати в двох режимах-імпульсному і потенційному. В імпульсному режимі реле включається на час "включення реле". У потенційному режимі реле включається на час присутності змущує сигналу, і відключається по закінченню «часу відключення» реле після того як зніметься змущує сигнал. Вихідні реле мають дві настройки за часом. «Час вмикання» – час на яке включається реле в імпульсному режимі, і «час вимикання» - час на яке затримується вимикання після зняття сигналу в потенційному режимі.

Максимальна струмовий захист може мати три ступені. Для кожного ступеня уставки за часом і струмом задаються з меню. Дозвіл роботи кожного ступеня МТЗ задається з меню. Всі ступені МТЗ працюють з урахуванням коефіцієнта повернення 0,95. Всі ступені МТЗ можуть бути з незалежною або залежними струмо-часовими характеристиками. Тип характеристики задається уставками з меню.

Всі ступені МТЗ можуть працювати з прискоренням. Прискорення вводиться на 1 с після появи логічної одиниці на дискретному вході DI1. При спрацьовуванні з прискоренням світлодіод відповідний спрацювала ступені включається червоним кольором в режим мерехтіння.

У двофазному виконанні пристрою захист від замикань на землю працює по виміряному струму $3I_0$ від окремого аналогового входу і в залежності від замовлення може виконуватися в двох варіантах:

- з діапазоном струмів спрацьовування (0,004...1) а;
- з діапазоном струмів спрацьовування (1...120) а.

Перший варіант призначений для мереж з малими струмами замикання на землю, а другий – з великими або для спеціальних застосувань в якості однофазної МТЗ.

У трифазному виконанні пристрою захист від замикань на землю працює по розрахунковому струму $3I_0$ з діапазоном струмів спрацьовування (1...120) А і призначена для мереж з великими струмами замикання на землю.

Решта властивості і характеристики ЗНЗ не залежать від конструкції.

ЗНЗ має два ступені. Дозвіл роботи кожного ступеня ЗНЗ і уставки за часом і струмом задаються з меню. Кожна із ступенів працює з урахуванням коефіцієнта повернення 0,95.

Пристрій релейного захисту типу РС 83 також має захист від струму зворотної послідовності. Захист по струму зворотної послідовності працює за розрахунковим струмом і може мати два ступені. Для кожного ступеня уставки за часом і струмом задаються з меню. Дозвіл роботи кожного ступеня ОБР задається з меню. Кожна із ступенів працює з урахуванням коефіцієнта повернення 0,95.

Також є функції АПВ з широкими налаштуваннями з меню, з можливістю задання уставок , циклічності та налаштування алгоритму.

СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Двоступеневий захист, що містить першу і третю ступені. Також передбачається газовий захист і захист від перевантажень.

Схема захисту трансформатора Т2 наведена на рисунку 3.1. Для виконання то без витримки часу і МТЗ встановлюємо реле струму КА1, для виконання захисту від перевантаження – одне реле КА2. Для підключення реле та трансформаторів струму ТА1 і ТА2, використовуємо двофазну дворелейную схему з'єднання в неповну зірку.

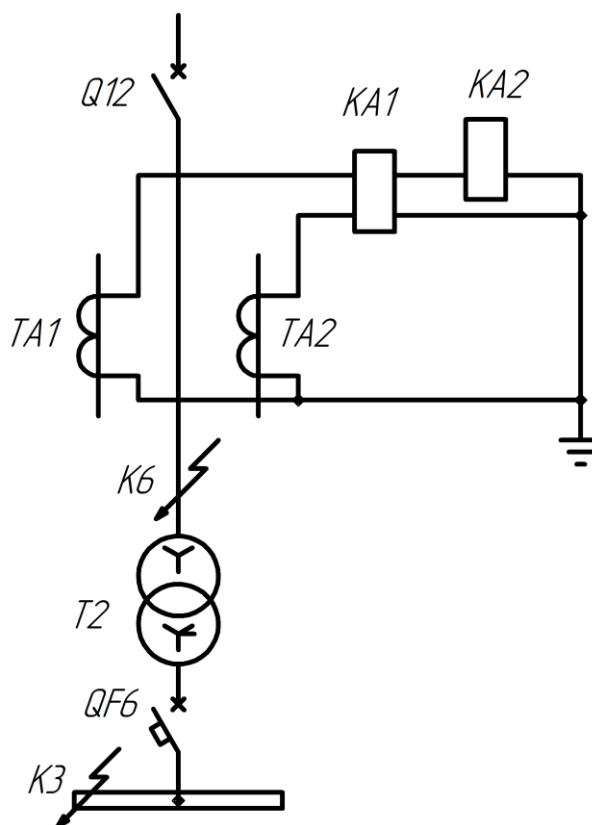


Рис. 3.1. Схема захисту трансформатору Т2

Струмова відсічка без витримки часу

Для захисту трансформатора невеликої та середньої потужності від коротких замикань, в його обмотках на контактах і в з'єднаннях до вимикачів

застосовується струмова відсічка без витримки часу. Захист встановлюється з боку вищої напруги безпосередньо біля вимикача. При цьому в зону дії захисту потрапляє трансформатор і його з'єднання з вимикачами. При спрацюванні захист діє на вимикання вимикачів. Захист створюється на базі статичного двофазного, двоступеневого реле максимального струму РС80, яке не потребує оперативного живлення для виконання основних функцій захисту. Для живлення елементів схеми застосовується вхідний струм.

Селективність струмової відсічки задається вибором її струму спрацювання за виразом [1, с. 39]:

$$I_{с.з}^I = k_{отс}^I \cdot I_{к.вн.мах}^{(3)}, \quad (3.1)$$

де $k_{отс}^I$ для реле РС80 складає 1,2; $I_{к.вн.мах}^{(3)}$ – найбільший струм при пошкодженні на шинах низької напруги трансформатору, $I_{кз.вн.мах}^{(3)} = 49,4$ кА.

Приведення струму $I_{кз.вн.мах}^{(3)}$ на сторону високої напруги

$$I_{кз.вн.мах}^{(3)} = \frac{I_{кз.вн.мах}^{(3)}}{K_T}, \quad (3.2)$$

де K_T – коефіцієнт трансформації трансформатору Т2:

$$K_T = \frac{U_{ВН}}{U_{НН}}. \quad (3.3)$$

$$K_T = \frac{6}{0,4} = 15.$$

$$I_{кз.вн.мах}^{(3)} = \frac{49,4}{15} = 3,3 \text{ кА.}$$

$$I_{с.з}^I = 1,2 \cdot 3,3 = 3,9 \text{ кА.}$$

Перевірка чутливості за формулою:

$$K_{ч}^I = \frac{k_{сх}^{(2)} I_{к.min}^{(2)}}{k_{сх}^{(3)} I_{с.з}^I} \geq 2, \quad (3.4)$$

де $I_{к.min}^{(2)}$ – мінімальний струм короткого замикання в місці встановлення захисту, в даному випадку – струм двофазного короткого замикання в точці К6, $I_{к6}^{(2)} = 8,6$ кА; $k_{сх}^{(2)}$ – коефіцієнт схеми при двофазному КЗ; $k_{сх}^{(3)}$ – коефіцієнт схеми при трифазному КЗ.

Для схеми з'єднання трансформатору струму та реле в неповну зірку $k_{сх}^{(2)} = k_{сх}^{(1)} = 1$.

$$K_{\text{ч}}^I = \frac{8,6}{3,9} = 2,2.$$

Висновок – чутливість достатня.

Визначення струму спрацювання реле РС80 за формулою [1, с. 40]:

$$I_{\text{с.р}}^I = \frac{k_{сх}^{(3)} I_{\text{с.з}}^I}{K_I}, \quad (3.5)$$

де $k_{сх}^{(3)}$ – коефіцієнт схеми при трифазному КЗ; K_I – коефіцієнт трансформації трансформатору струму

$$K_I = \frac{I_{1.\text{ном.ТА}}}{I_{2.\text{ном.ТА}}}, \quad (3.6)$$

де $I_{2.\text{ном.ТА}}$ – номінальний струм вторинної обмотки трансформатору струму, $I_{2.\text{ном.ТА}} = 5$ А; $I_{1.\text{ном.ТА}}$ – номінальний струм первинної обмотки трансформатору струму, А. Для його визначення спочатку слід визначити струм силового трансформатору $I_{\text{роб.мах}}$ на стороні високої напруги, за формулою (2.10):

$$I_{\text{роб.мах}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{Т.ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}},$$

де $U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга вищої сторони трансформатору, кВ.

$$I_{\text{роб.мах}} = \frac{1,4 \cdot 2500}{\sqrt{3} \cdot 6} = 336,8 \text{ А.}$$

Приймаємо $I_{1.\text{ном.ТА}} = 400$ А.

$$K_I = \frac{400}{5} = 80.$$

$$I_{с.р}^I = \frac{3900}{80} = 48,7 \text{ А.}$$

Недолік струмової відсічки без витримки часу полягає в неповному захисті трансформатору. В зоні захисту знаходиться лише частина обмотки. Захист не відреагує на коротке замикання на контактах і з'єднаннях з вимикачами на стороні низької напруги.

3.2. Максимальний струмовий захист

Для вимикання коротких замикань на виводах і з'єднаннях з вимикачем зі сторони низької напруги струмова відсічка без витримки часу доповнюється максимальним струмовим захистом, який одночасно є захистом від надструмів зовнішніх коротких замикань. Захист забезпечується також за допомогою реле максимального струму РС80. Струм спрацювання МСЗ визначається за формулою [1, с. 48]:

$$I_{с.з}^{III} \geq \frac{k_{вд}^{III} k_{сзп}}{k_{п}} I_{роб.мах}, \quad (3.7)$$

де $k_{вд}^{III}$ – коефіцієнт відлаштування приймається 1,2; $k_{п}$ – коефіцієнт повернення приймається 0,9 для реле РС80; $k_{сзп}$ – коефіцієнт самозапуску двигунів приймається рівним 2; $I_{роб.мах}$ – максимальний робочий струм трансформатору на стороні високої напруги, рівний 336,8 А.

$$I_{с.з}^{III} = \frac{1,2 \cdot 2}{0,9} \cdot 336,8 = 898 \text{ А.}$$

Струм спрацювання реле РС80 визначається за формулою [1, с. 48]:

$$I_{с.р}^{III} \geq \frac{k_{сх}^{(3)} I_{с.з}^{III}}{K_I}, \quad (3.8)$$

де $k_{сх}^{(3)}$ – коефіцієнт схеми при трифазному КЗ; K_I – коефіцієнт трансформації трансформатору струму, що дорівнює 80.

$$I_{с.р}^{III} = \frac{898}{80} = 11,2 \text{ А.}$$

Обране реле: РС80М2-25 [7].

Уставка кратності струму відсічки реле РС80М2-25 визначається за формулою:

$$k_{уст} = \frac{I_{с.р}^I}{I_{с.р}^{III}}. \quad (3.9)$$

$$k_{уст} = \frac{48,7}{11,2} = 4,35.$$

Приймаємо $k_{уст} = 4,5$ [7].

Перевірка коефіцієнту чутливості для найближчого резервування:

$$K_{ч}^{III} = \frac{k_{сх}^{(2)} I_{к.min}^{(2)}}{k_{сх}^{(3)} I_{с.3}^{III}} \geq 1,5, \quad (3.10)$$

де $I_{к.min}^{(2)}$ – найменший струм КЗ на низькій стороні трансформатору, у даному випадку – струм двофазного короткого замикання, $I_{к3}^{(2)} = 42,8$ кА.

Приведення $I_{к3}^{(2)}$ на сторону високої напруги.

$$I_{к3}^{(2)} = \frac{I_{к3.НН}^{(2)}}{K_T}. \quad (3.11)$$

$$I_{к3}^{(2)} = \frac{42,8}{15} = 2,8 \text{ кА.}$$

$$K_{ч}^{III} = \frac{2,8}{0,898} = 3,1.$$

Висновок: чутливість достатня.

Зона дальнього і ближнього резервування в цій мережі збігаються, тому коефіцієнт чутливості при дальньому резервуванні теж достатній.

Визначення витримки часу максимального струмового захисту. Витримка часу у МСЗ обирається за ступінчастим принципом, тобто $t_{с.3.Q12}^{III}$ третьої ступені вимикача Q12 відбудовується від витримки часу $t_{с.3.QF2}^{III}$ третьої ступені роз'єднувача вимикача QF2.

$$t_{с.3.Q12}^{III} = t_{с.3.QF2}^{III} + \Delta t, \quad (3.12)$$

де Δt – ступінь селективності дорівнює 0,5 с.

$$t_{с.3.Q12}^{III} = 4 + 0,5 = 4,5 \text{ с.}$$

Додатковою умовою для МСЗ є вимога забезпечення термічної стійкості трансформатору при зовнішніх КЗ згідно ГОСТ 11687-75, для масляних трансформаторів з алюмінієвими і мідними обмотками допускається тривалість проходження струму при трифазних коротких замиканнях на шинах за трансформатором:

$$t_{\text{доп}} \leq \frac{1500}{k^2}, \quad (3.13)$$

де $t_{\text{доп}}$ – допустима тривалість протікання надструму через трансформатор, с; k – відношення максимального струму при зовнішніх КЗ на шинах низької напруги трансформатору $I_{\text{КЗ.ВН.мах}}^{(3)}$ до номінального струму трансформатору $I_{\text{Т.ном}}$.

$$I_{\text{Т.ном}} = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 3608 \text{ А.}$$

$$k = \frac{49400}{3608} = 13,7.$$

$$t_{\text{доп}} = \frac{1500}{13,7^2} = 8 \text{ с.}$$

Для трансформаторів 35 кВ і нижче ГОСТ обмежує максимальну величину $t_{\text{доп}}$ до 4 с. Якщо розрахункова $t_{\text{доп}}$ виявилась більше цих значень, то витримка часу МСЗ, визначена за ступеневим принципом, не повинна перевищувати 4 с. В даному проекті витримку часу МСЗ слід прийняти $t_{\text{с.з.}Q12}^{III} = 4 \text{ с.}$

3.3. Захист від коротких замикань на землю на виводах низької напруги

У разі недостатньої чутливості третього ступеня захисту зазвичай застосовують спеціальний захист від однофазних КЗ на землю. Оскільки в даному

випадку чутливість МСЗ достатня $K_q^{III} \geq 1,5$, то забезпечення спеціального захисту від однофазних КЗ не потрібне.

3.4. Газовий захист

До характерних пошкоджень трансформатора відносяться КЗ між обмотками, виткові замикання "пожежа" сталі магнітопроводу, витік масла з бака, несправності маслonaповненого контактора, перемикача відгалужень пристрою регулювання напруги під навантаженням (РПН) та інші. Релейний захист, що реагує на зазначені пошкодження, отримав назву «газовий». Цей захист здійснюється за допомогою так званих газових і струменевих реле.

Газові реле призначені для захисту трансформаторів, що мають розширювач, від пошкоджень всередині бака, при яких відбувається виділення газу, зниження рівня масла або виникнення прискореного потоку масла з бака трансформатора в розширювач [6].

Відповідно [5] внутрішньоцехові знижувальні трансформатори потужністю $S_{T.ном} \geq 630 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ слід обладнати газовим захистом.

З урахуванням усього вищесказаного, в даному проекті передбачається газовий захист з використанням газового реле РГЧЗ-66 з чашкоподібними елементами. Згідно [6] на трансформаторах потужністю до 40 МВ·А з масляним охолодженням для реле РГЧЗ-66 рекомендовано встановити уставку по швидкості потоку масла $v = 0,6 \text{ м/с}$.

3.5. Струмовий захист від перевантаження

Режим перевантаження це симетричний режим, а тому схема захисту може бути створена на базі одного реле струму РТ80, ввімкненого в коло одного з трансформаторів струму захисту від зовнішніх коротких замикань.

Струм спрацювання реле визначається за формулою [1, с. 127]:

$$I_{c.p} = \frac{k_{отс} \cdot I_{T.ном}}{k_B \cdot K_I}, \quad (3.14)$$

де $k_{отс}$ – коефіцієнт відлаштування, враховуючий тільки похибку в струмі спрацювання і приймається рівним 1,05.

$$I_{с.р} = \frac{1,05 \cdot 240,1}{0,9 \cdot 80} = 3,5 \text{ А.}$$

Струм спрацювання захисту:

$$I_{с.з} = \frac{I_{с.р} \cdot K_I}{k_{сх}^{(3)}}.$$

$$I_{с.з} = 3,5 \cdot 80 = 280 \text{ А.}$$

Для налаштування від короткочасних перевантажень і КЗ додається додаткове реле часу, розраховане на тривале протікання струму в його обмотках. Витримка часу приймається на ступінь селективності більше, ніж час спрацювання захисту трансформатору від зовнішніх КЗ [1, с.127].

$$t_{с.р} = t_{с.з.Q12}^{III} + \Delta t. \quad (3.15)$$

$$t_{с.р} = 4 + 0,5 = 4,5 \text{ с.}$$

Основні параметри захисту трансформатору Т2 зібрані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Параметри захисту трансформатору Т2

Тип захисту	Тип пошкодження	Струм спрацювання захисту, А	Час спрацювання захисту, с
Струмова відсічка без витримки часу	Багатофазне КЗ	3900	0,07
МСЗ	Багатофазне КЗ	898	4
Струмовий захист від перевантаження	Перевантаження	280	4,5
Газовий захист	Пошкодження баку трансформатору	-	-

4. ЗАХИСТ КАБЕЛЬНОЇ ЛІНІЇ КЛЗ

Захист ліній від міжфазних КЗ складається з двох ступенів. Друга ступінь – струмова відсічка з витримкою часу. Третя ступінь – МСЗ. Також передбачається захист від замикання на землю.

Схема захисту кабельної лінії наведена на малюнку 4.1. Для побудови струмової відсічки з витримкою часу і МСЗ встановлюємо реле струму КА1. Для підключення реле і трансформаторів струму ТА1 і ТА2, використовуємо двофазну дворелейну схему з'єднання в неповну зірку. Для побудови захисту від замикань на землю встановлюється струмове реле К2, підключене до трансформатора струму нульової послідовності ТА3.

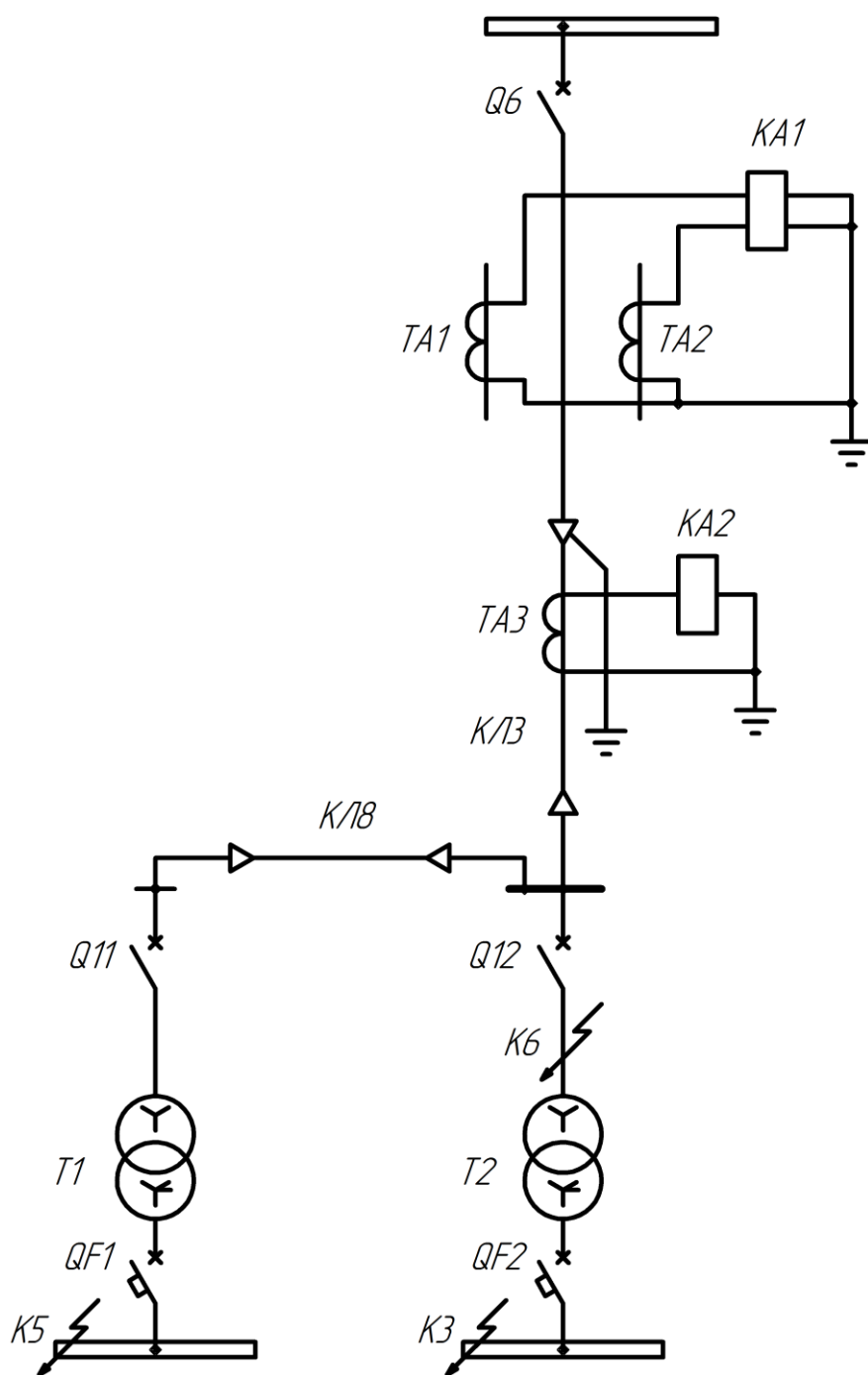


Рис. 4.1. Захист кабельної лінії КЛЗ

4.1. Струмова відсічка з витримкою часу

Захист виконується на базі статичного двофазного, двоступеневого реле максимального струму РС80, який не вимагає оперативного живлення для виконання основних функцій захисту. Живлення елементів схеми здійснюється від вхідного струму.

Селективність струмової відсічки забезпечується визначенням струму спрацювання за формулою [1, с. 42]:

$$I_{с.з}^{II} = k_{отс}^{II} \cdot I_{с.з}^I, \quad (4.1)$$

де $k_{отс}^{II}$ – коефіцієнт відлаштування приймається $k_{отс}^{II} = 1,1$.

$$I_{с.з}^{II} = 1,1 \cdot 3900 = 4290 \text{ кА.}$$

Перевірка чутливості за формулою (3.4):

$$K_{ч}^{II} = \frac{k_{сх}^{(2)} I_{к.min}^{(2)}}{k_{сх}^{(3)} I_{с.з}^I} \geq 1,5,$$

де $I_{к.min}^{(2)} = I_{к6}^{(2)} = 8,6 \text{ кА.}$

$$K_{ч}^{II} = \frac{8,6}{4,3} = 2.$$

Висновок: чутливість достатня

Визначення струму спрацювання реле РС80 за формулою (3.5):

$$I_{с.р}^{II} = \frac{k_{сх}^{(3)} I_{с.з}^{II}}{K_I},$$

де $k_{сх}^{(3)}$ – коефіцієнт схеми при трифазному КЗ; K_I – коефіцієнт трансформації трансформатору струму, визначається за формулою (3.6):

$$K_I = \frac{I_{1.ном.ТА}}{I_{2.ном.ТА}},$$

де $I_{2.ном.ТА}$ – номінальний струм вторинної обмотки трансформатору струму, $I_{2.ном.ТА} = 5 \text{ А}$; $I_{1.ном.ТА}$ – номінальний струм первинної обмотки трансформатору струму, А. Для його визначення спочатку потрібно визначити струм силових трансформаторів Т1 и Т2 $I_{роб.max}$ на стороні високої напруги з врахуванням перевантаження, що визначається за формулою (2.10):

$$I_{роб.max} = \frac{2 \cdot 1,4 \cdot S_{Т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}.$$

$$I_{роб.max} = \frac{2 \cdot 1,4 \cdot 2500}{\sqrt{3} \cdot 6} = 673,6 \text{ А.}$$

Приймаємо $I_{1.ном.ТА} = 700 \text{ А.}$

$$K_I = \frac{700}{5} = 140.$$

$$I_{с.р}^{II} = \frac{4290}{140} = 30,6 \text{ А.}$$

Час спрацювання налаштовується від відсічок всіх відгалужень ліній та від швидкодіючих захистів трансформаторів на деякий час Δt [1, с.43].

$$t_{с.з}^{II} = t_{с.з}^I + \Delta t,$$

де Δt – ступінь селективності приймається 0,3 с.

$$t_{с.з}^{II} = 0,07 + 0,3 = 0,37 \text{ с.}$$

4.2. Максимальний струмовий захист

Захист забезпечується також за допомогою реле максимального струму РС80. Струм спрацювання МСЗ визначається за формулою (3.7):

$$I_{с.з}^{III} \geq \frac{k_{отс}^{III} k_{сзп}}{k_B} I_{роб.мах},$$

де $k_{отс}^{III}$ – коефіцієнт відлаштування приймається рівним 1,2; k_B – коефіцієнт повернення приймається рівним 0,9 для реле РС80; $k_{сзп}$ – коефіцієнт самозапуску двигунів приймається рівним 2; $I_{роб.мах}$ – максимальний робочий струм трансформатору на стороні високої напруги, що дорівнює 673,6 А.

$$I_{с.з}^{III} = \frac{1,2 \cdot 2}{0,9} \cdot 673,3 = 1795,5 \text{ А.}$$

Струм спрацювання реле РС80 визначається за формулою (3.8):

$$I_{с.р}^{III} \geq \frac{k_{сх}^{(3)} I_{с.з}^{III}}{K_I},$$

де K_I – коефіцієнт трансформації трансформатору струму, що дорівнює 140.

$$I_{с.р}^{III} = \frac{1795,5}{140} = 12,8 \text{ А.}$$

Обране реле типу РС80М2-25 [7].

Уставка кратності струму відсічки реле РС80М2-25 визначається за формулою (3.9):

$$k_{уст} = \frac{30,6}{12,8} = 2,4.$$

Перевірка коефіцієнту чутливості для найближчого резервування за формулою (3.10):

$$K_{ч}^{III} = \frac{k_{сх}^{(2)} I_{к.min}^{(2)}}{k_{сх}^{(3)} I_{с.3}^{III}} \geq 1,5,$$

де $I_{к.min}^{(2)}$ – струм двофазного КЗ в точці К6, $I_{к6}^{(2)} = 8,6$ кА.

$$K_{ч}^{III} = \frac{8,6}{1,8} = 4,7.$$

Висновок: чутливість достатня.

Перевірка коефіцієнту чутливості для віддаленого резервування трансформатору Т1 за формулою (3.12):

$$K_{ч}^{III} = \frac{k_{сх}^{(2)} I_{к.min}^{(2)}}{k_{сх}^{(3)} I_{с.3}^{III}} \geq 1,2,$$

де $I_{к.min}^{(2)}$ – струм двофазного КЗ в точці К5, $I_{к5}^{(2)} = 36$ кА.

Приведення $I_{к5}^{(2)}$ на сторону високої напруги за формулою (3.11):

$$I_{к5}^{(2)} = \frac{36}{15} = 2,4 \text{ кА.}$$

$$K_{ч}^{III} = \frac{2,4}{1,8} = 1,33.$$

Висновок: чутливість достатня.

Аналогічно перевіряється коефіцієнт чутливості для віддаленого резервування трансформатору Т2. У такому випадку $I_{к.min}^{(2)} = I_{к3}^{(2)} = 42,8$ кА.

Приведення $I_{к3}^{(2)}$ на сторону високої напруги за формулою (3.11):

$$I_{к3}^{(2)} = \frac{42,8}{15} = 2,9 \text{ кА.}$$

$$K_{ч}^{III} = \frac{2,9}{1,8} = 1,6.$$

Висновок: чутливість достатня.

Визначення витримки часу максимального струмового захисту. Витримка часу у МСЗ обирається за ступеневим принципом, тобто $t_{с.з.Q6}^{III}$ третьої ступені вимикача Q6 налаштовується від витримки часу $t_{с.з.Q12}^{III}$ третьої ступені вимикача Q12.

$$t_{с.з.Q6}^{III} = t_{с.з.Q12}^{III} + \Delta t, \quad (3.2)$$

де Δt – ступінь селективності, що дорівнює 0,5 с.

$$t_{с.з.Q6}^{III} = 4 + 0,5 = 4,5 \text{ с.}$$

4.3. Захист лінії КЛЗ від однофазних замикань на землю

Струм спрацювання захисту обирається з умови неспрацювання її від стрибків власного ємнісного струму приєднання, що захищається, при зовнішніх КЗ на землю за виразом [1, с. 66]:

$$I_{с.з} = k_{отс} k_{бр} I_c, \quad (4.3)$$

де $k_{отс}$ – коефіцієнт відлаштування, що дорівнює 1,15; $k_{бр} = 3,5$ – коефіцієнт, враховуючий стрибок власного ємнісного струму приєднання, що захищається; I_c – власний ємнісний струм приєднання, що захищається, А.

Величина I_c для кабельної лінії визначається за формулою:

$$I_c = I_{с.пг} \cdot l \cdot n, \quad (4.4)$$

де $I_{с.пг}$ – власний струм кабелю на одиницю довжини, А/км; l – довжина кабельної лінії, км; n – кількість кабелів одної лінії.

Приєднання, що захищається, складається з двох кабельних ліній КЛЗ та КЛ8.

$$I_c = I_{с.клЗ} + I_{с.кл8} = 0,5 \cdot (1,07 + 0,73) = 0,9 \text{ А.}$$

$$I_{с.з} = 1,15 \cdot 3,5 \cdot 0,9 = 3,6 \text{ А.}$$

Вирахований струм слід порівняти з мінімально можливими величинами струму спрацювання захисту $I_{с.з.min}$.

При $I_{с.з} \leq I_{с.з.min}$ слід прийняти $I_{с.з} = I_{с.з.min}$. При $I_{с.з} > I_{с.з.min}$ струм спрацювання прийняти рівним розрахунковому $I_{с.з}$ [1, с. 66].

Обране реле 3ЗН2, що підключене до трансформатору струму нульової послідовності ТЗЛ. Струм спрацювання захисту при цьому приймаємо рівним розрахунковому $I_{с.з} = 3,6$ А.

Чутливість захисту визначається коефіцієнтом чутливості:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{эк.с}}}{I_{с.з}}, \quad (4.5)$$

де $I_{\text{эк.с}}$ — найменша реальна величина сумарного ємнісного струму мережі без врахування ємнісного струму приєднання, що захищається, $I_{\text{эк.с}} = 16,9$ А.

$$K_{\text{ч}} = \frac{16,9}{3,6} = 4,7.$$

Висновок: чутливість достатня.

Основні параметри захисту ліній КЛЗ зібрані в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1

Параметри захисту кабельної лінії КЛЗ

Тип захисту	Струм спрацювання захисту, А	Час спрацювання захисту, с
Струмова відсічка з витримкою часу	4290	0,37
Максимальний струмовий захист	1795,5	4,5
Захист від замикань на землю	3,6	-

5.2. Захист синхронного двигуна MS1

Нижче наведений розрахунок параметрів захисту синхронного двигуна MS1. Для синхронних електродвигунів передбачаються аналогічний захист, як і для асинхронних. Однак при визначенні параметрів струмової відсічки враховуються додаткові умови. Крім того синхронні двигуни повинні мати захист від асинхронного режиму [1, с. 147].

Схема захисту синхронного двигуна наведена на малюнку 5.3. Для забезпечення струмової відсічки без витримки часу і захисту від перевантаження та асинхронного режиму, встановлюється струмове реле КА1. Реле підключені до трансформаторів струму ТА1 і ТА2. Для забезпечення захисту від замикань на землю встановлено струмове реле КА2, приєднане до трансформатора струму нульової послідовності ТА3. Для електродвигунів потужністю $P_d \geq 2000$ кВт застосована двофазна дворелейна схема [2, с. 561]. Захист забезпечений за допомогою реле РС80.

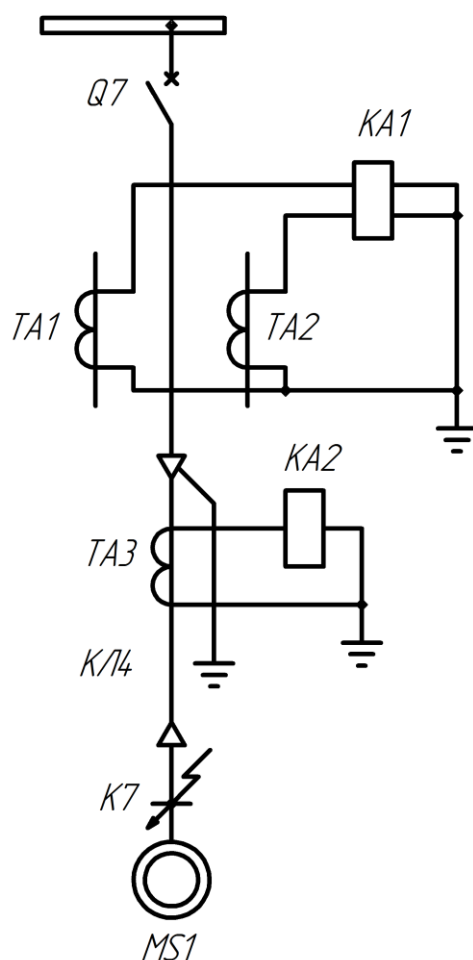


Рис. 5.3. Схема захисту синхронного двигуна MS1

5.2.1. Струмова відсічка без витримки часу

Струм спрацювання струмової відсічки визначається за формулою (2.3):

$$I_{с.з}^I = k_{отс}^I \cdot I_{пск.мах},$$

де $k_{отс}^I$ для реле РС80 дорівнює 1,2; $I_{пск.мах}$ – максимальний пусковий струм двигуна, який визначається за формулою (2.4), А:

$$I_{пск.мах} = I_{\Pi} \cdot I_{д.ном},$$

де I_{Π} – кратність пускового струму, для MS1 $I_{\Pi} = 6,91$; $I_{д.ном}$ – номінальний струм двигуна MS1, що розраховується за формулою (2.2), А:

$$I_{д.ном} = \frac{800}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,969 \cdot 0,9} = 88,26 \text{ А.}$$

$$I_{пск.мах} = 6,91 \cdot 88,26 = 610 \text{ А.}$$

$$I_{с.з}^I = 1,2 \cdot 610 = 732 \text{ А.}$$

Також слід забезпечити налаштування від надперехідного струму I_d'' , що надходить від двигуна в точку пошкодження при трифазному КЗ на шинах, до яких він приєднаний. Для розрахування струму спрацювання в виразі (2.3) слід замість $I_{пск.мах}$ ввести величину надперехідного струму [1, с. 147]:

$$I_d'' = \frac{E_q''}{X_d''} \cdot I_{д.ном}, \quad (5.11)$$

де E_q'' – надперехідна ЕРС двигуна; X_d'' – надперехідний індуктивний опір двигуна.

Надперехідний індуктивний опір синхронного двигуна:

$$X_d'' = \frac{1}{I_{\Pi}}. \quad (5.12)$$

$$X_d'' = \frac{1}{6,91} = 0,145.$$

Надперехідна ЕРС синхронного двигуна розраховується за формулою:

$$E_q'' = U_H + I_H \cdot X_d'' \cdot \sin \varphi_H. \quad (5.13)$$

$$E_q'' = 1 + 1 \cdot 0,145 \cdot \sqrt{1 - 0,9^2} = 1,06.$$

За формулою (5.11) визначається надперехідний струм:

$$I''_д = \frac{1,06}{0,145} \cdot 88,26 = 645,2 \text{ A.}$$

$$I^I_{с.3} = 1,2 \cdot 645,2 = 774,2 \text{ A.}$$

Найбільша величина струму з двох виразів $I^I_{с.3} = 774,2 \text{ A.}$

Перевірка чутливості за формулою (3.4):

$$K^I_{ч} = \frac{k_{сх}^{(2)} I_{к.min}^{(2)}}{k_{сх}^{(3)} I^I_{с.3}} \geq 2.$$

де $I_{к.min}^{(2)}$ – струм двофазного КЗ в точці К7, $I_{к7}^{(2)} = 8,7 \text{ кА.}$

$$K^I_{ч} = \frac{8,7}{0,7} = 12,4.$$

Висновок: чутливість достатня.

Визначення струму спрацювання реле РС80 за формулою (3.5):

$$I^I_{с.р} = \frac{k_{сх}^{(3)} I^I_{с.3}}{K_I},$$

де K_I – коефіцієнт трансформації трансформатора струму, що розраховується за формулою (3.6):

$$K_I = \frac{I_{1.ном.ТА}}{I_{2.ном.ТА}},$$

де $I_{2.ном.ТА}$ – номінальний струм вторинної обмотки трансформатора струму, $I_{2.ном.ТА} = 5 \text{ A}$; $I_{1.ном.ТА}$ – номінальний струм первинної обмотки трансформатора струму, що визначається за номінальним струмом двигуна.

Обраний струм $I_{1.ном.ТА} = 300 \text{ A.}$

$$K_I = \frac{100}{5} = 20.$$

$$I^I_{с.р} = \frac{774,2}{20} = 38,7 \text{ A.}$$

5.2.2. Захист від перевантаження

Захист забезпечується за допомогою одного реле РС80.

Струм спрацювання реле обирається аналогічно виразам (5.1) и (5.2):

$$I_{с.р}^{III} \geq \frac{1,2 \cdot 1 \cdot 88,26}{0,8 \cdot 20} = 6,61 \text{ A};$$

$$I_{с.р}^{III} \leq \frac{0,75 \cdot 610}{20} = 22,9 \text{ A}.$$

Обраний струм спрацювання $I_{с.р}^{III} = 6,61 \text{ A}$.

Обране реле: РС80М2-25 [7].

Уставка кратності струму відсічки реле РС80М2-25 визначається за формулою (3.9):

$$k_{уст} = \frac{32,3}{6,61} = 4,88.$$

Прийняте $k_{уст} = 6$ [7].

Струм спрацювання захисту:

$$I_{с.з} = \frac{I_{с.р} \cdot K_I}{k_{сх}^{(3)}}.$$

$$I_{с.з} = 6,61 \cdot 20 = 132,2 \text{ A}.$$

Ігнорування захисту в нормальних режимах пуску и самозапуску забезпечується вибором витримки часу в незалежній частині характеристики порядку $t_{с.з}^{III} = 10 \dots 15 \text{ с}$ [1, с. 146]. Прийнятий $t_{с.з}^{III} = 12,5 \text{ с}$.

5.2.3. Захист від асинхронного режиму

Асинхронний хід - аварійний та недопустимий режим для синхронного двигуна. Для захисту застосовується захист від перевантаження за допомогою реле РС80.

Струм спрацювання захисту від асинхронного режиму приймається рівним $I_{с.з} = (1,3 \dots 1,4)I_{д.ном}$.

$$I_{с.з} = 1,3 \cdot 88,26 = 114,7 \text{ А.}$$

Слід врахувати, що також необхідно забезпечити час повернення $t_{в.р} \geq (1,2 \dots 1,5)\Delta t$.

Прийнятий час $t_{в.р} = 0,05 \text{ с.}$

5.2.4. Захист від замикання на землю

Захист від коротких замикань на землю проектується аналогічно п. 5.1.3.

Для визначення струму спрацювання захисту використовується вираз(5.3):

$$I_{с.з} = k_{відл} I_{0п}^{(1)},$$

де $k_{відл}$ – коефіцієнт відлаштування, для захисту без витримки часу $k_{отс} = 4,5$; $I_{0п}^{(1)}$ – власний ємнісний струм приєднання, що складається з власного ємнісного струму двигуна $I_{0д}^{(1)}$ та власного ємнісного струму кабельної лінії $I_{0л}^{(1)}$, що зв'язують двигун з шинами ($I_{0п}^{(1)} = 3I_{0д}^{(1)} + I_{0л}^{(1)}$).

В даному випадку $I_{0л}^{(1)} = I_{0л4}^{(1)}$. Величина $I_{0л4}^{(1)}$ розраховується за формулою (4.4).

$$I_{0л5}^{(1)} = 0,5 \cdot 1,31 = 0,655 \text{ А.}$$

Величина потужності $S_{д.ном}$ розраховується за формулою (5.6):

$$S_{д.ном} = \frac{0,8}{0,9 \cdot 0,969} = 0,91 \text{ МВ} \cdot \text{А.}$$

Визначення ємності фази двигуна за формулою (5.5):

$$C_d = \frac{0,0187 \cdot 0,91 \cdot 10^{-6}}{1,2\sqrt{6} \cdot (1 + 0,08 \cdot 6)} = 0,004 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.}$$

Струм $I_{0д}^{(1)}$ розраховується за формулою (5.4):

$$I_{0д}^{(1)} = \frac{314 \cdot 0,004 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} = 0,004 \text{ А.}$$

$$I_{с.з} = 4,5 \cdot (3 \cdot 0,004 + 0,655) = 3 \text{ А.}$$

За [5] для двигунів потужністю $P_d \leq 2000$ струм спрацювання не повинен перевищувати 10 А. Розрахований струм спрацювання $I_{с.з}$ задовольняє цю вимогу.

Отриманий струм спрацювання слід порівняти з найменшою можливою величиною струму спрацювання захисту $I_{с.з.min}$.

При $I_{с.з} \leq I_{с.з.min}$ прийнятий струм $I_{с.з} = I_{с.з.min}$ [1, с. 66].

Обране реле РТЗ-50 підключається до трансформатору струму нульової послідовності ТЗЛ-95. Струм спрацювання захисту при цьому прийнятий величиною $I_{с.з} = I_{с.з.min} = 3,2$ А.

Чутливість захисту визначається за коефіцієнтом, чутливості аналогічно формулі (4.5):

$$K_q = \frac{I_{эк.с}}{I_{с.з}},$$

де $I_{эк.с}$ — найменша реальна величина сумарного ємнісного струму мережі без урахування ємнісного струму приєднання, що захищається, $I_{эк.с} = 17,2$ А.

$$K_q = \frac{17,2}{3} = 5,7.$$

Висновок: чутливість достатня.

Основні параметри захисту двигуна MS1 забрані в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Параметри захисту синхронного двигуна MS1

Тип захисту	Струм спрацювання захисту, А	Час спрацювання захисту, с
Струмова відсічка без витримки часу	774,2	-
Захист від перевантаження	132.2	12,5
Захист від асинхронного режиму	114.7	12,5
Захист від замикання на землю	3	-

6. Захист секційного вимикача Q5

Захист на секційному вимикачі складається з:

- максимальний струмовий захист;
- пристрій автоматичного вмикання резерву (ПАВР).

6.1. Максимальний струмовий захист

Захист забезпечується за допомогою реле максимального струму РС80. Трансформатори струму і реле з'єднуємо в двофазну дворелейную схему в неповну зірку.

Струм спрацювання МСЗ визначається за формулою (3.7):

$$I_{с.з}^{III} \geq \frac{k_{отс}^{III} k_{сзп}}{k_B} I_{роб.мах},$$

де $I_{роб.мах}$ – сумарний струм навантаження ліній, що живляться, приєднаних до секції шин, що захищається.

$$I_{роб.мах} = I_{роб.мах.КЛ3} + I_{роб.мах.КЛ4} + I_{роб.мах.КЛ5}; \quad (6.1)$$

$$I_{роб.мах} = 673,6 + 88,26 + 269,8 = 1031 \text{ А.}$$

$$I_{с.з}^{III} = \frac{1,2 \cdot 2}{0,9} \cdot 1031 = 2749 \text{ А.}$$

Струм спрацювання реле РС80 визначається за формулою (3.8):

$$I_{с.р}^{III} \geq \frac{k_{сх}^{(3)} I_{с.з}^{III}}{K_I}.$$

Коефіцієнт трансформації трансформатора струму визначається за формулою (3.6):

$$K_I = \frac{I_{1.ном.ТА}}{I_{2.ном.ТА}},$$

де $I_{1.ном.ТА}$ – номінальний струм первинної обмотки трансформатора струму. В даному випадку струм розраховується за по сумарним

струмом навантаження $I_{\text{раб.мах}}$ ліній, що живляться, приєднаних до секції під напругою, при роботі всіх секцій, $I_{\text{раб.мах}} = 1031 \text{ А}$.

Прийнятий струм $I_{1.\text{ном.ТА}} = 1100$.

$$K_I = \frac{1100}{5} = 220.$$

$$I_{\text{с.р}}^{\text{III}} = \frac{1,2 \cdot 2749}{220} = 15 \text{ А}.$$

Перевірка коефіцієнту чутливості для найближчого резервування за формулою (3.10):

$$K_{\text{ч}}^{\text{III}} = \frac{k_{\text{сх}}^{(2)} I_{\text{к.мін}}^{(2)}}{k_{\text{сх}}^{(3)} I_{\text{с.з}}^{\text{III}}} \geq 1,5,$$

де $I_{\text{к.мін}}^{(2)}$ – струм двофазного КЗ в точці К2, $I_{\text{к2}}^{(2)} = 13,6 \text{ кА}$.

$$K_{\text{ч}}^{\text{III}} = \frac{13,6}{3} = 4,5.$$

Висновок: чутливість достатня.

Перевірка коефіцієнту чутливості для віддаленого резервування за формулою (3.12):

$$K_{\text{ч}}^{\text{III}} = \frac{k_{\text{сх}}^{(2)} I_{\text{к.мін}}^{(2)}}{k_{\text{сх}}^{(3)} I_{\text{с.з}}^{\text{III}}} \geq 1,2,$$

де $I_{\text{к.мін}}^{(2)}$ – струм двофазного КЗ в точці К6, $I_{\text{к6}}^{(2)} = 8,6 \text{ кА}$.

$$K_{\text{ч}}^{\text{III}} = \frac{8,6}{3} = 2,9.$$

Висновок: чутливість достатня.

Витримка часу захисту $t_{\text{с.з.}Q5}^{\text{III}}$ приймається на ступінь селективності Δt більше максимального часу спрацювання $t_{\text{л.мах}}$ захисту лінії:

$$t_{\text{с.з.}Q5}^{\text{III}} = t_{\text{л.мах}} + \Delta t, \quad (6.2)$$

де $t_{\text{л.мах}} = t_{\text{с.з.}Q6}^{\text{III}} = 4,5 \text{ с}$; $\Delta t = 0,3 \text{ с}$.

$$t_{\text{с.з.}Q5}^{\text{III}} = 4,5 + 0,3 = 4,8 \text{ с}.$$

6.2. Пристрій автоматичного вмикання резерву

В даному випадку застосоване взаємне резервування за допомогою ПАВР двосторонньої дії. Схема захисту зображена на малюнку 6.1. Пусковий орган ПАВР1 містить мінімальні реле напруги KV1 і KV3 і максимальне реле напруги KV2. Пусковий орган УАВР2 містить мінімальні реле напруги KV4 і KV6 та максимальне реле напруги KV 5. Для підключення реле KV1, KV3, KV5 використовується трансформатор напруги TV3, для підключення реле KV4, KV6, KV2 -трансформатор напруги TV4.

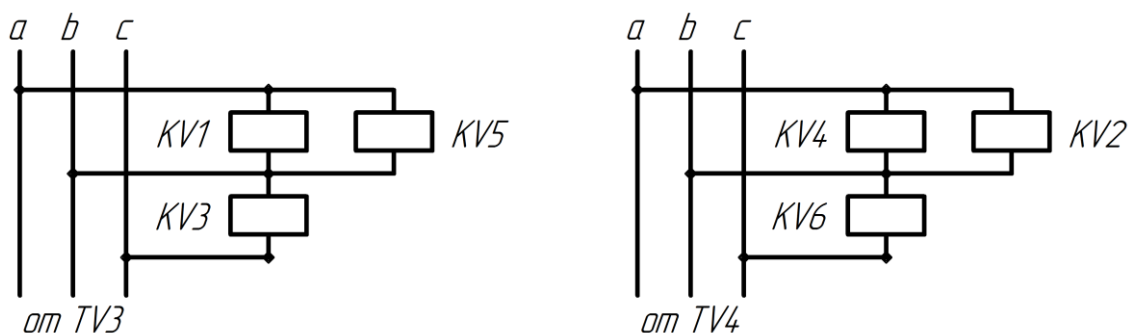


Рис. 6.1. Коло напруги пристрою АВР

Напруга спрацювання мінімального реле напруги [2, с. 361]:

$$U_{c.p.1} = \frac{0,3U_{ном}}{K_U}. \quad (6.3)$$

$$U_{c.p.1} = \frac{0,3 \cdot 6000}{60} = 30 \text{ В.}$$

Витримка часу визначається аналогічно виразу (6.2):

$$t_{ABP1} \geq t_{л.мах} + \Delta t,$$

$$\text{де } t_{л.мах} = t_{с.з.Q6}^{III} = 4,5 \text{ с; } \Delta t = 0,5 \text{ с.}$$

$$t_{ABP1} = 4,5 + 0,5 = 5 \text{ с.}$$

Напруга спрацювання максимального реле напруги [2, с. 363]:

$$U_{c.p.2} = \frac{0,7U_{ном}}{K_U}. \quad (6.4)$$

$$U_{c.p.2} = \frac{0,7 \cdot 6000}{60} = 70 \text{ В.}$$

Вимога однократної дії ПАВР задовільнена, якщо прийняти тривалість дії на вмикання вимикача Q5 [2, с. 363]:

$$t_{\text{ABP2}} = t_{\text{в.в}} + t_{\text{зап}}, \quad (6.5)$$

де $t_{\text{в.в}}$ — час вмикання вимикача Q5, $t_{\text{в.в}} = 0,025$ с; $t_{\text{зап}}$ — час запасу, $t_{\text{зап}} = 0,4$ с.

$$t_{\text{ABP2}} = 0,025 + 0,4 = 0,425 \text{ с.}$$

Основні параметри захисту, що встановлений на секційному вимикачі Q5, зібрані в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1

Параметри захисту вимикача Q5

Тип захисту	Струм спрацювання захисту, А	Час спрацювання захисту, с
Максимальний струмовий захист	3104	4,8
Пристрій АВР	-	5

7. Захист кабельної лінії КЛ1.

Захист складається з двох ступенів. Перши ступінь струмова відсічка без витримки часу. Третя ступінь – максимальний струмовий захист. Також передбачається захист від замикання на землю.

Схема захисту кабельної лінії зображена на малюнку 7.1.

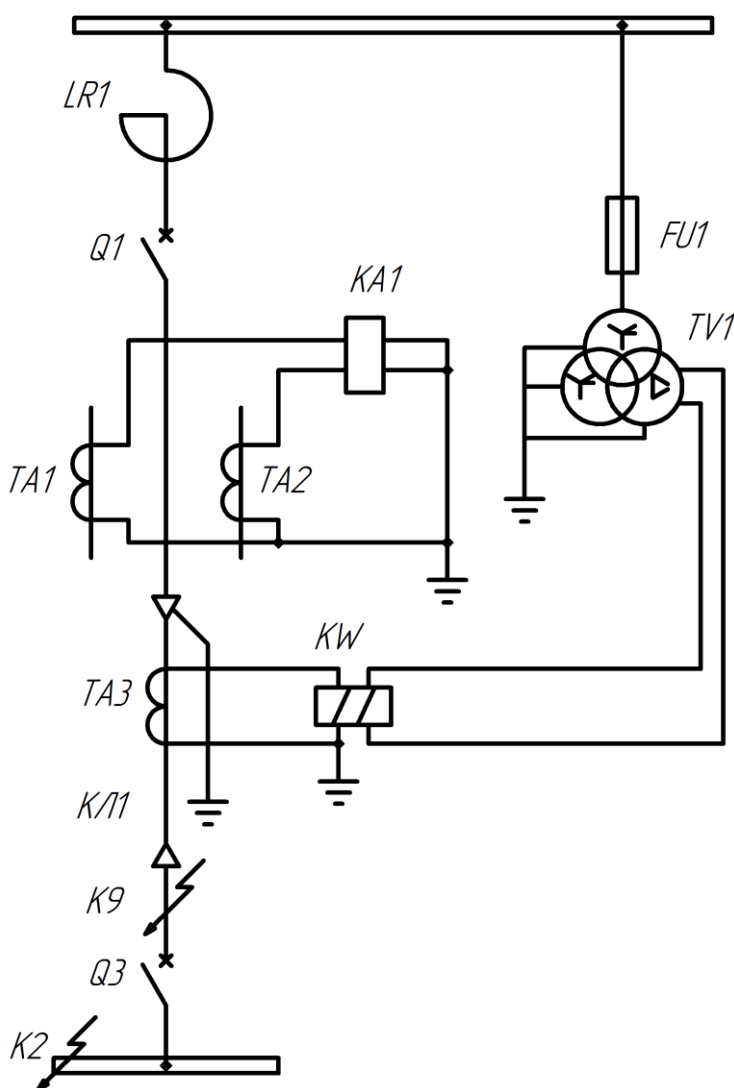


Рис. 7.1. Схема захисту кабельної лінії КЛ1

Для забезпечення струмової відсічки без витримки часу і МСЗ встановлені реле струму KA1. Для підключення реле і трансформаторів струму TA1 і TA2, використовується двофазна дворелейна схема з'єднання в неповну зірку.

Для забезпечення захисту від замикань на землю встановлюється реле напрямку потужності KW, струмове коло якого підключається до

трансформатору струму нульової послідовності, а коло напруги підключається до напруги нульової послідовності, що генерується на обмотці трансформатору напруги, що з'єднаний в розімкнутий трикутник.

7.1. Струмова відсічка без витримки часу

Струм спрацювання визначається за формулою (3.1):

$$I_{с.з}^I = k_{отс}^I \cdot I_{к.вн.мах}^{(3)},$$

де $k_{отс}^I = 1,2$; $I_{к.вн.мах}^{(3)}$ – максимальний струм при пошкодженні зовні елемента, що захищається, $I_{к2.вн.мах}^{(3)} = 15,7$ кА.

$$I_{с.з}^I = 1,2 \cdot 15,7 = 18,8 \text{ кА.}$$

Перевірка чутливості за формулою (3.4):

$$K_{ч}^I = \frac{k_{сх}^{(2)} I_{к.min}^{(2)}}{k_{сх}^{(3)} I_{с.з}^I} \geq 2,$$

де $I_{к.min}^{(2)}$ – мінімальний струм КЗ на місці встановлення захисту, в даному випадку – струм двофазного КЗ в точці К9, $I_{к9}^{(2)} = 10,3$ кА.

$$K_{ч}^I = \frac{10,3}{18,8} = 0,55.$$

Висновок: чутливість недостатня. У такому разі слід використати другу ступінь захисту.

7.2. Струмова відсічка з витримкою часу

Струм спрацювання захисту розраховується опираючись на потрібний коефіцієнт чутливості $K_{ч}^{II} = 1,5$ в точці К2.

$$I_{с.з}^{II} = \frac{k_{сх}^{(2)} I_{к.min}^{(2)}}{k_{сх}^{(3)} K_{ч}^{II}}, \quad (7.1)$$

де $I_{к.min}^{(2)}$ – найменший струм в кінці лінії, що захищається, $I_{к.min}^{(2)} = I_{к.2}^{(2)} = 13,6$ кА.

$$I_{с.з}^{II} = \frac{13,6}{1,5} = 9,1 \text{ кА.}$$

Визначення струму спрацювання реле за формулою (3.5):

$$I_{c.p}^{II} = \frac{k_{cx}^{(3)} I_{c.3}^{II}}{K_I},$$

де K_I – коефіцієнт трансформації ТА, що визначається за формулою (3.6):

$$K_I = \frac{I_{1.ном.ТА}}{I_{2.ном.ТА}},$$

де $I_{2.ном.ТА}$ – номінальний струм вторинної обмотки трансформатору струму, $I_{2.ном.ТА} = 5$ А; $I_{1.ном.ТА}$ – номінальний струм первинної обмотки трансформатору струму. У даному випадку він дорівнює сумарному струму навантаження $I_{роб.мах.1}$ ліній, що живляться, приєднаних до секцій шин, яка захищається; шин при роботі всіх секцій, $I_{роб.мах.1} = 1164$ А. При цьому враховується випадок, коли в результаті дії ПАВР уся або частина навантаження секції II зі струмом $I_{роб.доп}$ перемикається на захищену секцію I [2, с. 618].

$$I_H = I_{роб.мах.1} + I_{роб.доп} \quad (7.2)$$

$$I_{роб.доп} = I_{д.ном.МS2} + I_{д.ном.МА2}; \quad (7.3)$$

$$I_{роб.доп} = 269,8 + 88,26 = 358 \text{ А.}$$

$$I_H = 1164 + 358 = 1522 \text{ А.}$$

Прийнятий струм $I_{1.ном.ТА} = 2000$ А.

$$K_I = \frac{2000}{5} = 400.$$

$$I_{c.p}^{II} = \frac{9100}{400} = 22,7 \text{ А.}$$

Час спрацювання налаштовується від відсічок усього відгалуження та від швидкодіючого захисту трансформаторів на деякий час Δt [1, с.43].

$$t_{c.3}^{II} = t_{c.3}^I + \Delta t, \quad (7.4)$$

де Δt – ступінь селективності, що приймається 0,3 с.

$$t_{c.3}^{II} = 0,08 + 0,3 = 0,38 \text{ с.}$$

Обране реле струму типу АЛ-5-8 з $t_{c.3}^{II} = 0,4$ с [8].

Друга ступінь захисту кабельної лінії КЛ1 з витримкою часу, тому слід перевірити кабель на термічну стійкість.

Термічна стійкість перевіряється за виразом [3, с. 39]:

$$F_{min} \geq \frac{I_K^{(3)} \sqrt{t_{откл}}}{C}, \quad (7.5)$$

де F_{min} – найменший допустимий переріз кабелю, для КЛ1 $F_{min} = 240 \text{ мм}^2$; $I_K^{(3)} = I_{К.9}^{(3)} = 11,9 \text{ кА}$; C – коефіцієнт, що характеризує допустимий нагрів матеріалу кабелю; для кабелю с алюмінієвими жилами 6 кВ становить $C = 97 \text{ А} \cdot \text{с}^{-1/2} / \text{мм}^2$ [4, с. 51].

З виразу (7.5) можна визначити допустимий час протікання струму короткого замикання через кабель:

$$t_{откл} = \sqrt{\frac{F_{min} C}{I_{К.9}^{(3)}}}. \quad (7.6)$$

$$t_{откл} = \sqrt{\frac{240 \cdot 97}{11,9}} = 1,4 \text{ с.}$$

Час спрацювання другої ступені $t_{с.3}^{II}$ задовольняє вимогу термічної стійкості.

7.3. Максимальний струмовий захист

Струм спрацювання МСЗ визначається за формулою (3.7):

$$I_{с.3}^{III} \geq \frac{k_{отс}^{III} k_{сзп}}{k_B} I_{роб.мах.}$$

$$I_{с.3}^{III} = \frac{1,2 \cdot 2}{0,9} \cdot 1655 = 4413 \text{ А.}$$

Також необхідне відлаштування від струму короткочасного перевантаження по лінії Л1, при вмиканні секційного вимикача (СВ) Q5.

$$I_{с.3}^{III} = k_{отс}^{III} (k' I_{роб.мах.1} + k_{сзп} I_{роб.мах.2}), \quad (7.7)$$

де k' – коефіцієнт самозапуску, що враховує самозапуск двигунів першої секції шин, приймається величиною $k' = 1,5$; $I_{роб.мах.1}$ – струм навантаження від

першої секції шин, $I_{роб.мах.1} = 1164$ А; $k_{сзп}$ – коефіцієнт самозапуску, що враховує самозапуск двигунів другої секції шин, приймається величиною $k_{сзп} = 3$; $I_{роб.мах.2}$ – струм навантаження другої секції шин, за формулою (7.3) $I_{раб.мах.2} = 491$ А.

$$I_{с.3}^{III} = 1,2 \cdot (1,5 \cdot 1164 + 3 \cdot 491) = 3863 \text{ А.}$$

З двох виразів обирається найбільше значення $I_{с.3}^{III} = 4413$ А.

Струм спрацювання реле РС80 визначається за формулою (3.8):

$$I_{с.р}^{III} \geq \frac{k_{сх}^{(3)} I_{с.3}^{III}}{K_I}.$$

$$I_{с.р}^{III} = \frac{4413}{400} = 11 \text{ А.}$$

Уставка кратності струму відсічки реле АЛ-5-8 визначається за формулою (3.9):

$$k_{уст} = \frac{22,7}{11} = 2.$$

Перевірка коефіцієнту чутливості для найближчого резервування за формулою (3.10):

$$K_q^{III} = \frac{k_{сх}^{(2)} I_{к.min}^{(2)}}{k_{сх}^{(3)} I_{с.3}^{III}} \geq 1,5,$$

де $I_{к.min}^{(2)}$ – струм двофазного КЗ в точці К2, $I_{к2}^{(2)} = 13,6$ кА.

$$K_q^{III} = \frac{13,6}{4,4} = 3,1.$$

Висновок: чутливість достатня.

Перевірка коефіцієнту чутливості для віддаленого резервування за формулою (3.12):

$$K_q^{III} = \frac{k_{сх}^{(2)} I_{к.min}^{(2)}}{k_{сх}^{(3)} I_{с.3}^{III}} \geq 1,2,$$

де $I_{к.min}^{(2)}$ – струм двофазного КЗ в точці К6, $I_{к6}^{(2)} = 8,6$ кА.

$$K_q^{III} = \frac{8,6}{4,4} = 1,9.$$

Висновок: чутливість достатня.

Витримка часу $t_{с.з.Q1}^{III}$ приймається на ступінь селективності Δt більше часу спрацювання $t_{с.з.Q5}^{III}$ захисту СВ Q5.

$$t_{с.з.Q1}^{III} = t_{с.з.Q5}^{III} + \Delta t$$

$$t_{с.з.Q1}^{III} = 4,8 + 0,5 = 5,3 \text{ с.}$$

7.4. Захист лінії КЛ1 від однофазного замикання на землю

Захист забезпечується у вигляді спрямованого захисту нульової послідовності ЗЗП-1.

Струм спрацювання захисту визначається опираючись на вимогу забезпечення необхідної чутливості [1, с. 67]:

$$I_{с.з} \leq \frac{I_{\text{эк.с}}}{K_{\text{ч}}}, \quad (7.7)$$

де $I_{\text{эк.с}}$ — найменша реальна величина сумарного ємнісного струму мережі без врахування ємнісного струму приєднання, що захищається, $I_{\text{эк.с}} = 15,7 \text{ А}$; $K_{\text{ч}} \geq 2$.

$$I_{с.з} = \frac{15,7}{2} = 7,8.$$

Враховуючи розраховану величину слід обрати найближчу меншу величину $I_{с.з} = 2 \text{ А}$ [1, с. 67].

7.5. Захист від замикання на землю – неселективна сигналізація

Неселективна сигналізація застосовується незалежно від наявності будь-якого захисту від однофазного замикання на землю в мережах з ізольованою нейтраллю.

Захист забезпечується у вигляді максимального захисту нульової послідовності. Для підключення реле напруги використовується вторинна обмотка трансформатора напруги, що з'єднана в розімкнутий трикутник.

За відсутності замикання на землю на приєднаннях розімкнутого трикутника (на реле) буде напруга небалансу, що становить приблизно 4 В. Тому реле повинно бути налаштоване з урахуванням цієї напруги. Прийнята напруга $U_{с.р} = 6$ В. При змиканні на землю в будь-якій точці електрично зв'язаної мережі напруга на реле може досягати 100 В і реле спрацює [1, с. 68]. Такий же захист передбачається для лінії КЛЗ.

Основні параметри захисту лінії КЛ1 зібрані в таблиці 7.1

Таблиця 7.1

Параметри захисту кабельної лінії КЛ1

Тип захисту	Струм спрацювання захисту	Час спрацювання захисту, с
Струмова відсічка з витримкою часу	9100	0,4
Максимальний струмовий захист	4400	5,3
Спрямований захист нульової послідовності	2	-

Охорона праці

Вступ

Основною небезпекою під час роботи з електрообладнанням завжди була можливість ураження електричним струмом. Для захисту людини від ураження електричним струмом слід використовувати спеціальний інструмент, руків'я якого зроблені з високоякісного діелектричного матеріалу, спеціальні гумові рукавиці та цілий ряд засобів захисту, що призначені для різних умов експлуатації, класів напруги та інші. Сам інструмент та засоби захисту повинні підтримуватися в гарному стані, не мати пошкоджень. Ізоляційні матеріали повинні проходити ревізію на придатність до експлуатації і при наявності пошкоджень або суттєвого зносу, що може становити небезпеку для робітника, мають бути списані та замінені на нові.

Для постійного контролю стану інструменту та засобів захисту, на кожному підприємстві створений спеціальний орган – відділ охорони праці. Інженер охорони праці повинен контролювати стан електрообладнання та засобів взаємодії з ним на безпечність експлуатації. Відділ охорони праці також відповідальний за розташування пам'яток з техніки безпеки та періодичні планові інструктажі. На будь-якому промисловому підприємстві потрібно неухильне виконання правил техніки безпеки при роботі з електрообладнанням. При їх порушенні дуже високий ризик отримання важкої травми. Перед допуском до роботи кожен проходить відповідний інструктаж, в ряді випадків здається спеціальний іспит. Крім того, пам'ятки з правилами вивішуються і на робочих місцях. Працівники повинні бути ознайомлені з нормативними документами та обов'язковими вимогами. Інструктаж проводиться за місцем роботи, про його проходження повинна бути відповідний запис в журналі.

Зазвичай граничною величиною струму, який вже відчуває людина, приймається значення 1,5 мА. Небезпечне значення, яке провокує неконтрольовані скорочення м'язів, становить 15-20 мА. Струм, що призводить

до смертельного випадку – 100 мА. При розрахунку кола захисного заземлення слід опиратись саме від цих параметрів. Однак на практиці значення струму суттєво відрізняються і можуть залежати від індивідуальних особливостей людини, її психоемоційного стану та інші фактори. Найбільша загроза для життя виникає у випадках, коли на шляху протікання струму через тіло людини знаходяться органи, що відповідають за життєдіяльність організму (наприклад, серце або мозок). Це відбувається при проходженні через руки-ноги, від руки до руки, а також через голову до рук або ніг. Відповідно, менш небезпечний шлях - від ноги до ноги.

У разі проведення ремонтних робіт або роботи схожої спрямованості, необхідно провести відповідні технічні заходи, тобто установка заземлення для захисту, огороження місця роботи і установки спеціальних попереджувальних знаків. При виконанні роботи зовні приміщення, за умови опадів, в якості інструменту використовується тільки той, у якого клас захисту відповідає обстановці. Заборонено також застосування інструменту, який може бути причиною короткого замикання, такого, як сталеві ножівки або металеві лінійки. Ці правила застосовуються до початку роботи. Правила, що регламентують робочий процес, можна подивитися в документах. Якщо потрібно зробити зміну насадки або використовувати інший інструмент, необхідно виконати відключення живлення. Під час виконання роботи необхідно контролювати місце розташування кабелю живлення, щоб не завдати йому пошкодження. Для цього, згідно із загальними правилами, провід необхідно підвісити на висоту, не менше 2,5 метрів. Якщо кабель знаходиться над проходом або проїздом, висота його підвіски збільшується до 3,5 і 6 метрів, відповідно.

Найбільшу небезпеку становить кабель з видаленим або пошкодженим шаром ізоляції. В цьому випадку внутрішні частини кабелю стають більш схильними до механічного впливу. Для того щоб виміряти струм такого кабелю варто скористатися мультиметром. Значну небезпеку становить кабель з

пошкодженою ізоляцією, що знаходиться у вологому приміщенні або під відкритим небом під час опадів.

Для захисту персоналу від ураження електричним струмом застосовують спеціальні заходи: захисне заземлення, занулення, ізоляція струмопровідних елементів, обмеження доступу до відкритих струмопровідних частин, що неможливо ізолювати. Захисне заземлення – спеціальне з'єднання з землею корпусів електричних машин і апаратів, які можуть опинитися під напругою. Захисне заземлення робиться для зниження напруги між землею і корпусом машини (що потрапили під напругу) до безпечного значення. У разі пробоя ізоляції між фазою і корпусом машини струм, що проходить через людину безпечний. Захисне заземлення складається з заземлювача (металеві конструкції в землі) і заземлюючих провідників (сталеві або мідні шини, що з'єднують корпуси машин з заземлювачем, які приварюють або з'єднують з ними болтами). Захисне заземлення повинне мати строго нормоване значення. Відхилення від регламентованого значення є порушенням умов охорони праці, але не лише формально, а може складати реальну небезпеку під час виникнення ненормальних режимів роботи або пошкодження електрообладнання.

Занулення – з'єднання корпусів електричних машин і апаратів, які можуть опинитися під напругою, не з землею, а з заземленим нульовим проводом. Це призводить до того, що замикання будь-якої з фаз на корпус апарату або машини перетворюється в коротке замикання цієї фази з нульовим проводом. Струм короткого замикання викликає спрацьовування захисту і пошкоджене обладнання вимикається. Нульовий провід не повинен мати запобіжників і вимикачів.

4.4 Розрахунок заземлення

Визначимо струм замикання на землю:

$$I_3 = \frac{\sqrt{3} \cdot U_\phi}{350} (3,5 \cdot L_{\text{к.л.}} + L_{\text{в.л.}}) = \frac{\sqrt{3} \cdot 10}{350} (3,5 \cdot 127 + 0) = 21,9 \text{ А} \quad (4.1)$$

де $L_{\text{к.л.}}$ - довжина кабельної лінії;

$L_{\text{в.л.}}$ - довжина повітряної лінії;

В даному випадку маємо тільки повітряну лінію електропередачі.

За розрахунком маємо електроустановки з малими струмами замикання на землю (до 500 А)

Опір заземлення в електроустановках напругою до 1 кВ не повинен перевищувати:

$$R_H = 4 \text{ Ом}$$

Підраховується опір природних заземлювачів

Заземлювач поряд з трансформатором встановлений вертикально та має круглий переріз.

- для вертикального круглого:

$$R_B = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d} = \frac{30}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \ln \frac{4 \cdot 3}{0,001} = 14,956 \text{ Ом} \quad (4.2)$$

ρ - питомий опір ґрунту (для чорнозему значення 30 Ом/м) ;

l - довжина заземлювача (в даному випадку довжина 3м);

d - діаметр круглого заземлювача(в даному випадку 10мм), м;

Визначаємо опір шуканих заземлювачів:

$$R_u = \frac{R_B \cdot R_H}{R_B - R_H} = \frac{14,96 \cdot 4}{14,96 - 4} = 5,46 \text{ Ом} \quad (4.3)$$

Поглиблення горизонтального заземлення знаходимо за формулою:

$$T = \left(\frac{L}{2}\right) + t = \left(\frac{4,5}{2}\right) + 0,7 = 2,95 \text{ м} \quad (4.4)$$

L - довжина заземлювача;

t - глибина траншеї;

Кількість заземлювачів без врахування опору горизонтального заземлення знаходиться за формулою:

$$n_0 = \frac{R_B \cdot \Psi}{R_H} = \frac{14,96 \cdot 1,6}{4} = 5,984(6) \quad (4.5)$$

Ψ - коефіцієнт сезонності для вертикального і горизонтального електродів;

Для другої кліматичної зони $\Psi = 1,6$

Опір розтікання струму для горизонтальних заземлювачів:

$$R_r = 0,366 \left(\frac{\rho \cdot \Psi}{L_r \cdot \eta_r}\right) \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot L_r^2}{b \cdot t}\right) \quad (4.6)$$

$$R_r = 0,366 \left(\frac{30 \cdot 1,6}{22,5 \cdot 0,4}\right) \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot 22,5^2}{0,1 \cdot 0,7}\right) = 7,025 \text{ Ом} \quad (4.7)$$

η_r - коефіцієнт використання горизонтальної сполучної смуги;

b - ширина заземлювача;

Довжина горизонтальних заземлювачів при їх розташуванні в ряд:

$$L_{\Gamma} = a \cdot (n_0 - 1) = 4.5 \cdot 5 = 22.5 \text{ м} \quad (4.8)$$

де a - відстань між заземлювачами;

Сумарний опір розтікання струму штучного заземлювача.

$$R_{\text{роз}} = \frac{1}{\frac{\eta_{\Gamma}}{R_{\Gamma}} + \frac{\eta_{\text{Б}}}{R_{\text{Б}}}} = \frac{1}{\frac{0.4}{7.025} + \frac{0.62 \cdot 6}{14.956}} = 3.271 \text{ Ом} \quad (4.9)$$

ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Вступ

Використання сучасних мікропроцесорних пристроїв релейного захисту забезпечує нові можливості пошуку та виявлення несправності. Однак в деяких випадках використання сучасного мікропроцесорного обладнання не лише ефективніше застарілих релейних систем, а й економічно доцільне, маючи високу надійність, високу швидкодію та широкі можливості по визначенню та знешкодженню несправності. Окрім простих функцій захисту, термінали можуть об'єднуватися в цілі системи і також виконувати функції телеметрії за керування споживачами.

Однак інша сторона сучасних систем – низька ремонтпридатність. Зазвичай мікропроцесорні термінали мають складну внутрішню будову. Як наслідок – проведення ремонту на місці встановлення неможливе, для цього потрібно зв'язатися з відповідною службою та здати обладнання на гарантійне обслуговування або в спеціалізований сервісний центр для проведення діагностики на відновлення пошкоджених компонентів. За певних умов вартість ремонту може перевищувати вартість нового мікропроцесорного пристрою і такі випадки не поодинокі.

Для підтримки обладнання в нормальному стані проводяться планові обслуговування та ремонт. Суть профілактичного ремонту полягає в тому, що на заздалегідь визначеній певній ділянці або обладнанні проводяться планові огляди, перевірки, випробування і ремонт, які забезпечують нормальну подальшу роботу устаткування мережі. Технічне обслуговування - комплекс робіт для підтримання в справності обладнання і мереж. Воно передбачає догляд за обладнанням та мережами, проведення оглядів, систематичне спостереження, за їх справним станом, контроль режимів роботи, дотримання правил експлуатації і експлуатаційних інструкцій, усунення дрібних пошкоджень, які не потребують відключення обладнання і мереж, чистку, продувку і мастило. Огляди плануються як самостійні операції лише для деяких

видів енергетичного обладнання та мереж з відносно великою трудомісткістю ремонту. Під час огляду перевіряють стан обладнання; проводяться чистка, промивку, продування, добавку або зміну ізоляційних матеріалів, мастил; виявляють дефекти експлуатації та порушення правил безпеки, уточнюють склад і обсяг робіт, що підлягають виконанню при черговому капітальному чи профілактичному ремонті. Часто профілактичні роботи можуть бути відкладені або скасовані задля економії, однак це може порушити технологічні умови, продиктовані виробником обладнання, і може призвести до пошкодження та виходу з ладу обладнання, що притягне за собою ще більші витрати, ніж на періодичне профілактичне обслуговування.

Основна мета роботи – порівняти два варіанти реконструкції пристрою релейного захисту синхронного двигуна потужністю 800 кВт насосної станції Дніпро-Донбас, станція №3, та обрати найкращий. Перший варіант передбачає встановлення електростатичного реле максимального струму типу РС 80 та реле захисту від замикань на землю ЗЗН2. У другому випадку обидва реле замінить мікропроцесорний термінал РС 83. Вимикач не розглядається та залишається без змін.

4.2 Розрахунок капітальних витрат на обладнання

Таблиця 4.2 - Вартість придбання та кількість електрообладнання для варіанту з електростатичним реле РС 80

№ з/п	Найменування ел. приладів	Кількість, шт.	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн
1	Реле РС 80	1	5 335	5 335
2	Реле ЗЗН2	1	2 860	2 860
3	Комплект для проведення монтажних робіт	1	3 000	3 000
Всього				11 195

Таблиця 4.3 – Вартість придбання та кількість електрообладнання для варіанту з мікропроцесорним терміналом РС 83

№ з/п	Найменування ел. приладів	Кількість, шт.	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн
1	Мікропроцесорний пристрій релейного захисту РС 83	1	8 960	8 960
2	Комплект для проведення монтажних робіт	1	2 600	2 600
Всього				11560

Величина проектних капіталовкладень визначається за формулою:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{об}}(\sum_{i=1}^k (C_i)) + Z_{\text{мзс}} + Z_{\text{м}} + Z_{\text{н}} + Z_{\text{пр}}$$

де $K_{\text{об}}(\sum_{i=1}^k (C_i))$ - вартість придбання електрообладнання;

$Z_{\text{мзс}}$ -транспортно-заготівельні і складські витрати

$Z_{\text{м}}$ - витрати на монтажні роботи;

$Z_{\text{н}}$ - витрати на налагоджувальні роботи;

$Z_{\text{пр}}$ - інші одноразові вкладення грошових коштів

Вартість придбання електрообладнання ($K_{\text{об}}$)

Вартість обладнання візьмемо з прайсу фірми СПБ, ООО «Промтехенерго» станом на 21.06.20 вказана у списку літератури [8],[9]

Транспортні витрати

Термінал та реле захисту мають невеликі габарити тому їх можливо доставити поштою згідно тарифу вказаному в літ.[4]

$$Z_{\text{мзс}} = 115 \text{ грн.}$$

Витрати на монтажні ($Z_{\text{м}}$) і на налагоджувальні роботи ($Z_{\text{н}}$)

Монтаж та налаштування шафи релейного захисту повинна виконуватися не менш ніж 2 працівниками.

$$Z_{\text{м}} = \sum (C_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_{\text{д}} \cdot K_{\text{см}} \cdot K_{\text{пр}}, \quad (4.2.2)$$

де C_i – чисельність працівників(2) 4-го розряду, необхідних на виконання певного обсягу монтажних робіт, чол.;

a_i - годинна тарифна ставка працівника 4-го розряду,(20 грн./год згідно [6]);

t_i - час, необхідний для виконання певного обсягу монтажних

(налагоджувальних робіт), 24 год. згідно[12];

K_d - коефіцієнт, що враховує розмір доплат $K_d = 1.$;

$K_{см}$ - коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок (1,22);

$K_{пр}$ - коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних (налагоджувальних) робіт, $K_{пр} = 1.$

Працівники з монтажних та налагоджувальних робіт не працюють в тяжких умовах та не мають виконувати збільшені обсяги робіт, тому витрати на монтажні та налагоджувальні роботи розрахуємо згідно тарифної ставки [6]

$$З_{м,н} = (2 \cdot 20 \cdot 24) \cdot 1 \cdot 1,22 \cdot 1 = 1\,171,2 \text{ грн.} \quad (4.2.3)$$

Таким чином капітальні витрати для варіанту с електростатичним реле матимуть вигляд:

$$K_{пр1} = 11\,195 + 115 + 1\,171,2 = 12\,481,2 \text{ грн}$$

Для варіанту з мікропроцесорним терміналом типу РС 83:

$$K_{пр2} = 11\,560 + 115 + 1\,171,2 = 12\,846,2 \text{ грн}$$

Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати розраховуються за формулою:

$$C = C_a + C_з + C_c + C_T + C_e + C_{пр}, \text{ грн.} \quad (4.3.1)$$

де C_a - амортизаційні відрахування;

$C_з$ - заробітна плата обслуговуючого персоналу;

C_c - єдиний соціальний внесок (22%);

C_T - витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт релейного захисту;

C_e - вартість споживаної релейним захистом електроенергії;

Визначення амортизаційних відрахувань

Мікропроцесорні термінали типу РС 83 відносяться до групи 4 - машини та обладнання для якої мінімальний час використання 2 роки[13].

Формула для розрахунку норми амортизації має вигляд:

$$H_A = \frac{\Phi_{\Pi} - L}{\Phi_{\Pi} \cdot T_{\Pi}} \cdot 100\% \quad (4.3.2)$$

Так як $L=0$. Тоді формула набуває вигляду:

$$H_A = \frac{1}{T_{\Pi}} \cdot 100\% = \frac{1}{2} 100\% = 50 \% \quad (4.3.3)$$

Так як термінали релейного захисту входять до групи амортизації(4), норма амортизації для обраного обладнання однакова(50%).

Загальні витрати на експлуатацію (суму амортизації) для варіанту з електростатичним реле визначається за формулою 4.3.4 :

$$C_{a1} = C_1 \cdot H_A = ((5\,335 + 2\,860) + 3000) \cdot 0,5 = 5\,597,5 \text{ грн}$$

Для варіанту з мікропроцесорним пристроєм релейного захисту:

$$C_{a1} = C_1 \cdot H_A = (8\,960 + 2\,600) \cdot 0,5 = 5\,780 \text{ грн}$$

Релейний захист не потребує обслуговування після встановлення, виконується тільки нагляд у разі необхідності. Тому $C_3 = 0$.

Визначення річних витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт

В загальному вигляді формула для розрахунку витрат на технічне обслуговування та ремонт має вигляд:

$$З_{т.р.} = \sum_{i=1}^n (R_i \cdot t_i \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\phi}) \quad (4.3.5)$$

Формула зазнає змін з урахуванням низької ремонтпридатності мікропроцесорного терміналу, оскільки нема можливості провести ремонт обладнання безпосередньо на місці встановлення.

Тому вартість однотипних змінних елементів(S_i) дорівнює вартості самого обладнання.

Таким чином формула 4.3.6 набуває вигляду:

$$З_{т.р.} = \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\phi} = \frac{8\,960 \cdot 1}{87600} \cdot 8760 = 896 \text{ грн} \quad (4.3.6)$$

де:

S_i - вартість однотипних замінних елементів, грн.;

Π_i - кількість однотипних замінних елементів;

T_i - середній термін служби, год(10 років згідно [3]).;

T_{ϕ} - число годин роботи апаратури на рік, год.

Релейний захист працює постійно тому кількість його робочих годин дорівнює $24 \times 365 = 8760$ год.

Вартість спожитої електроенергії

Згідно літератури [3] споживання мікропроцесорного терміналу РС 83 складає 10 Вт, споживання реле становить 23 Вт. Загальна спожита потужність визначається за виразом:

$$P = P_1 \cdot n_1 + P_2 \cdot n_2 = 23 + 10 = 33 \text{ Вт} \quad (4.3.7)$$

Спожита обладнанням енергія за рік:

$$W_p = P \cdot T_{\phi} = 33 \cdot 8760 = 289 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (4.3.8)$$

Тариф на електроенергію для підприємств з споживаною потужністю менше 30 кВА становить 1,814 грн/кВА. Тому ціна за споживання електроенергії за рік становитиме:

$$\text{Ц}_1 = W_p \cdot \text{Ц}_e = 289 \cdot 1,814 = 524,2 \text{ грн.} \quad (4.3.9)$$

Висновки

Капітальні витрати на проект релейного захисту на базі електростатичного реле та реле захисту від замикань на землю становлять 12 481,2 грн. Для проекту на основі мікропроцесорного пристрою ця сума складає 12 846,2 грн. Проект на базі терміналу дорожчий за витратами, також може знадобитись кваліфікований спеціаліст для налаштування. Проте термінал має набагато більші можливості по виявленню та вимиканню пошкоджених ділянок.

Висновок

При виконанні дипломного проекту були обрані мікропроцесорні термінали релейного захисту типу РС 83

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1) Методичні вказівки з виконання розрахункової частини розділу «Охорона праці» в дипломних проектах студентів інституту електроенергетики / Укладачі: В.І. Голінько, д-р техн. наук, проф.; В.Ю. Фрундін, канд. техн. наук, доц.; Я.Я. Лебедєв, канд. техн. наук, доц.; В.Є. Колесник, д-р техн. наук, проф. – с. 37

2) Методичні вказівки до виконання економічної частини кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності 141 «Електроенергетика електротехніка та електромеханіка» / Укладачі: Л.В Тимошенко, Н.В. Дементьєва – Дніпро: НТУ«ДП», 2019. – 14 с.

3) Мікропроцесорний пристрій релейного захисту РС 83 – Технічна документація

https://rzasystems.com/upload/files/PC83-A2M_RE_red1_5.pdf

4) Перевезення вантажу

<https://ubr.ua/market/transport/novaja-pochta-obnarodovala-tarify-hto-izmenilos>

5) Витрати на налагоджувальні роботи

https://rabota.ua/company833015/vacancy7975705?ref=recom_similar&cre=sauron&pos=dkp_vacancy_similar

6) Витрати на монтажні роботи

https://rabota.ua/company3991802/vacancy7987182?ref=recom_score&cre=sauron&pos=dkp_zerosearch

12) Релейний захист електроенергетичних систем

<http://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/3D5F8DE0-F88B-446D-9388-2209FF980B45.pdf>

13) Норми амортизаційних відрахувань

<http://www.visnuk.com.ua/uk/publication/100006196-amortizatsiya-osnovnikh-zasobiv>

Додаток А

№	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
1	A4	Пояснювальна записка	59	
		Графічні матеріали		
2	A1		1	
3	A1		1	