

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ
Частина 1
Методичні вказівки до самостійної роботи

СУМИ - 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Релейний захист
Частина 1

Методичні вказівки до самостійної роботи
для здобувачів 3 с.т. і 4 курсу
освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
денної форми здобуття освіти
та 2 с.т. і 5 курсу заочної форми здобуття освіти
ступеню вищої освіти «Бакалавр»

СУМИ - 2025

УДК 378
Р 31

Укладачі: **Кравченко В.О.**, к.ф.-м.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем,
Сіренко Ю.В., к.т.н доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем,
Юрченко О.Ю., ст. викладач кафедри енергетики та електротехнічних систем

Р 31 Релейний захист. Частина 1. Методичні вказівки до самостійної роботи / укл.: Кравченко В.О., Сіренко Ю.В., Юрченко О.Ю. - Суми, 2024. – 48 с.

В методичних вказівках подано додаткові відомості про елементи пристроїв релейного захисту та автоматики, захист та автоматику розподільчих електричних мереж, пристрої автоматики, струмовий направлений та диференційний захисти.

Рецензенти:

Барсукова Г.В., к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ;

Хурсенко С.М., к.ф.-м.н., зав. кафедри охорони праці та фізики СНАУ.

Відповідальний за випуск:

Чепіжний А.В., к.т.н., зав. кафедри енергетики та електротехнічних систем.

Рекомендовано до видання Радою із забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти інженерно-технологічного факультету

Протокол №4 від «28» січня 2025 року

ЗМІСТ

Тема 1. Вступ. Сучасний стан та тенденції розвитку систем релейного захисту та автоматики.....	6
Тема 2. Релейний захист.....	14
Тема 3. Елементи пристроїв РЗ.....	23
Тема 4. Захист і автоматика мереж напругою до 1 кВ.....	30
Тема 5. Захист повітряних ліній	32
Тема 6. Диференційні струмові захисти.....	40
Список рекомендованої літератури.....	44

Тема 1. Вступ. Сучасний стан та тенденції розвитку систем релейного захисту та автоматики.

1. Основні вимоги до пристроїв РЗА.

З метою обмеження функціонування захист повинен задовольняти певним вимогам, а саме селективності, стійкості і т.д.

Під надійністю розуміють властивість захисту виконувати задані функції в повному обсязі при певних умовах експлуатації. Захист не повинен працювати при нормальних режимах роботи.

Надійність захисту – абсолютна, безперервна здатність виконувати задані функції. Для захисту існує три види надійності.

1. Надійність спрацьовування – захист має спрацьовувати за вимогою. Порушення даної надійності називається відмовою у спрацьовуванні і характеризується параметром потоку відмов

2. Надійність неспрацьовування при зовнішніх пошкодженнях – захист не має працювати при зовнішніх пошкодженнях (наприклад абсолютно селективне струмове відсічення). Порушення даної надійності неспрацьовування називається зайвим спрацьовуванням і характеризується параметром потоку зайвих спрацьовувань

3. Надійність неспрацьовування за відсутності пошкоджень – захист не має працювати в нормальних режимах, за відсутності пошкоджень. Порушення даної надійності неспрацьовування називається помилковим спрацьовуванням і характеризується параметром потоку помилкових спрацьовувань

Основними властивостями релейного захисту й автоматики є технічна досконалість (що включає селективність і стійкість функціонування) і надійність функціонування.

З точки зору надійності, основною функцією захисту і автоматики є зменшення збитків при аваріях в енергосистемі.

Релейний захист, вимикаючи пошкоджену ділянку, зменшує глибину аварії і не дає їй розвинутися на навколишні елементи енергосистеми. Захист, що має високу технічну досконалість і надійність, може значно підвищити безвідмовність і ефективність функціонування енергосистеми.

Ненадійний захист може сам стати джерелом аварії і завдати системі великих збитків.

Під селективністю розуміють властивість релейного захисту, що діє на вимкнення, визначати пошкоджений елемент і вимикати лише його.

Для захисту, що діє на сигнал — це властивість однозначно діяти на режим і конкретно елементи системи електропостачання, що вимагають втручання персоналу.

Селективність – така дія релейного захисту, при якій у першу чергу своїми захистами вимикається пошкоджена частина електричної мережі, якщо не вимкнулася, тоді спрацьовують суміжні захисти.

Абсолютна селективність – захист не реагує на пошкодження в суміжних електроустановках.

Відносна селективність – захист через задану витримку часу (t_{CP}) спрацьовує як при пошкодженнях у своїй, так і суміжній електроустановках, якщо остання не відключилася своїми захистами.

Якщо захист спрацьовує лише при КЗ на елементі, що захищається, то він називається абсолютно селективним. Захист, який може спрацьовувати як резервний при пошкодженні на попередньому елементі, якщо це пошкодження не вимкнулось, називається захистом з відотною селективністю. До захистів з відотною селективністю відносяться струмовий, струмовий направлений дистанційний захист.

Селективність спрацювання пристроїв захисту при виникненні КЗ характеризується її захистоздатністю (властивістю захищати весь елемент).

Селективність може бути задана витримками часу (де Δt – ступінь селективності, для мікропроцесорних захистів становить 0,25–0,3 с);

значеннями електричних параметрів (струму I_{C3} , напруги U_{C3} , опору Z_{C3}) тощо.

Основний захист – той, який має мінімальну витримку часу.

Резервний захист – захист з витримкою часу, що виконує функції ближнього резервування (захист резервує захист своєї електроустановки) і далекого (захист резервує захисти суміжних електроустановок).

Внутрішнім КЗ називаються пошкодження в межах елемента, що захищається даним захистом. Зовнішнім КЗ називаються пошкодження на попередньому елементі.

Захист називається швидкодіючим, якщо його час спрацювання не перевищує 0,05 с.

Швидкодія при КЗ забезпечує зменшення ймовірності порушення синхронної роботи генераторів компенсаторів двигунів зменшення часу роботи при понижень напрузі, зменшення руйнування ізоляції і струмопровідних частин, зменшення кількості нещасних випадків, поліпшення ефективності дії пристроїв АПВ і АВР.

Стійкість функціонування при КЗ характеризується чутливістю і стійкістю.

Під чутливістю захисту розуміється його властивість реагувати на можливі пошкодження в мінімальних режимах СЕП.

Чутливість - здатність релейного захисту виявляти ті пошкодження, на які вона налаштована.

Чутливість оцінюють коефіцієнтом чутливості. Для максимального захисту коефіцієнт чутливості – це відношення мінімальної вхідної величини до встановленої величини параметру на захисті

Коефіцієнт чутливості для мінімального захисту – це відношення величини параметру спрацювання захисту до максимальної вхідної величини

До захисту від коротких замикань висуваються такі основні вимоги: він не повинен спрацьовувати за відсутності пошкоджень у системі і при

пошкодженнях поза зоною захисту; він має спрацьовувати при пошкодженнях на об'єкті, що захищається.

Можливі такі основні види відмов у функціонуванні:

- помилкові спрацьовування (за відсутності коротких замикань у системі);
- зайві спрацьовування (при пошкодженнях поза зоною захисту);
- відмови у спрацьовуванні (при пошкодженнях на об'єкті, що захищається).

Зазвичай вибір параметрів захистів і автоматики виконується за умов їх неспрацьовування в максимальних режимах нормальної або аварійної робіт електроустановки, де в місці установаження захисту:

$I_{\max}$ – найбільше значення струму;

$U_{\min}$ – найменше значення напруги;

$Z_{\min}$ – найменше значення опору

Чутливість захистів перевіряється за умов їх спрацьовування в мінімальних режимах нормальної або аварійної робіт електроустановки, де в місці установаження захисту:

$I_{\min}$ – найменше значення струму;

$U_{\max}$ – найбільше значення напруги;

$Z_{\max}$ – найбільше значення опору.

2. Сучасні тенденції в РЗА.

Забезпечення надійної і безперебійної роботи електроустановок (ЕУ) нерозривно пов'язано з підвищенням технічного рівня релейного захисту й автоматики, впровадженням комплексної автоматизації керування робочими, аварійними і післяаварійними режимами, що характеризуються єдністю і безперервністю виробництва, розподілу і споживання електричної енергії. Перехід на нову елементну цифрову базу не призводить до зміни принципів релейного захисту й автоматики, а тільки розширює її функціональні

можливості, спрощує експлуатацію. Саме з цих причин мікропроцесорними реле замінюють застарілі електромеханічні і мікроелектронні реле.

Основні характеристики мікропроцесорного захисту значно вищі за мікроелектронні, а тим більше за електромеханічні.

Потужність, споживана від вимірювальних трансформаторів струму і напруги, знаходиться на рівні 0,1–0,5 ВА, апаратна похибка – у межах 2–5 %, коефіцієнт повернення вимірювальних органів складає 0,96–0,97. При збільшенні коефіцієнта повернення зменшується струм спрацьовування захисту, а коефіцієнт чутливості збільшується.

В інтегрованих цифрових комплексах релейного захисту й автоматики (РЗА) з'являється можливість переходу до нових нетрадиційних вимірювальних перетворювачів струму і напруги на основі оптоелектронних і електронних датчиків, трансформаторів без магнітних сердечників та ін. Ці перетворювачі технологічніші при виробництві, мають дуже високі метрологічні характеристики, але малу вихідну потужність.

Досвід застосування мікропроцесорних пристроїв релейного захисту в багатьох енергосистемах дозволив не лише оцінити їхні переваги, але і виявити серйозні недоліки. Мікропроцесорні пристрої релейного захисту є дуже складними пристроями зі специфічним принципом дії, що не має нічого спільного зі звичайними (традиційними) реле захисту.

Мікропроцесорні реле мають ряд переваг, наприклад, **функціональні**:

1) вони автоматично формують звітну документацію з роботи електроустановки, а також за діями захисту і персоналу;

2) цифровий осцилограф і реєстратор аварійних подій автоматично виділяють активну і реактивну складові електричних параметрів, записують активний і реактивний опори та інший сервіс, не вимагають витрат на обслуговування, заміну паперу та ін., не мають частин, що зношуються;

3) вимірюють і контролюють значення струмів, напруги, частоти і потужності. Цифровий вид інформації дозволяє побудувати гармоніки розкладанням функції в ряд Фур'є і виділити першу гармоніку;

4) відрізняються простотою нарощування і зміни введених функцій без зміни технічних засобів;

5) мають гнучкішу структуру захисту, можливість введення – виведення захисту або будь-якої його частини на вимикання або сигнал зі збереженням реєстрації роботи, можливість у перспективі зміни параметрів «на ходу» залежно від режимів роботи мережі і навантажень та ін.;

6) роблять швидку зміну параметрів захисту, мають можливість зберігати в пам'яті набори параметрів захисту;

7) визначають місця пошкодження, що значно скорочує час і трудовитрати на проведення даної роботи, оскільки при цьому не потрібно викликати кваліфікований персонал і розшифровувати осцилограми для пошуку за таблицями місця пошкодження.

Експлуатаційні переваги:

простий інтерфейс контролю і керування (нижній рівень);

постійний автоматичний самоконтроль;

простота дистанційного контролю і зміни параметрів захисту;

зниження трудомісткості експлуатації;

висока міра заводської готовності тощо.

Економічні переваги:

зменшення витрат на кабельно-провідникову продукцію;

мінімум робочої площі;

дешевші і в меншій кількості трансформатори струму і напруги;

можливість нарощувати функції пристроїв без заміни або введення нового устаткування;

зменшення номенклатури і кількості ЗІП (запасних частин, інструментів і приладів);

значне зменшення рівня енергоспоживання;

вирішення питань захисту, моніторингу і керування електричною частиною на єдиних технічних засобах.

Недоліки мікропроцесорного захисту:

вплив на роботу реле електромагнітних збурень з боку живильної мережі;

раптові втрати оперативного джерела напруги під час роботи реле, викликані перевантаженням або коротким замиканням у мережі, а також спрацюванням автоматичних вимикачів у колі оперативного живлення, потрапляннями блискавки в лінії електропередачі, обривами дротів та ін.

Такі пошкодження можуть призвести до переривання поточної роботи оперативної пам'яті, зависання мікропроцесора, а інколи і до повної втрати даних у тому випадку, якщо не вжито спеціальні заходи з організації безперебійного живлення реле.

Мають місце електромагнітні шуми або перешкоди в колах живлення і вхідних колах реле. Такі перешкоди можуть бути викликані різними чинниками і явищами: комутаційними або атмосферними перенапруженнями, випромінюваннями передавачів чи потужного промислового устаткування, несинусоїдальністю напруги.

З практики експлуатації мікропроцесорних реле відомі випадки, коли джерелом такого випромінювання, що порушило нормальну роботу мікропроцесорного реле, був звичайний телефон сотового зв'язку.

Спостерігаються несиметричні режими в мережі і режими, пов'язані з провалами напруги і тривалим (протягом декількох секунд і більше) зниженням її рівня. Такі режими виникають при вмиканні потужного однофазного навантаження, пусках потужних електродвигунів компресорів, ліфтів, а також при дефіциті потужності в енергосистемі в години максимуму.

Складні мікропроцесорні пристрої релейного захисту (наприклад дистанційні) не завжди адекватно поведуться при складних аваріях.

Статистика показує, що інколи швидкодіючі мікропроцесорні захисти реагують на аварійний режим набагато повільніше, ніж електромеханічні.

Для спрацювання електромеханічного або електронного реле миттєвої дії достатньо 5–15 мс, а для мікропроцесорного реле 30–40 мс (за

даними виробників). Це пов'язано з тим, що, на відміну від електромеханічного або аналогового електронного реле, мікропроцесорне реле працює із вхідними величинами дискретно. Воно «захоплює» поточні значення вхідних величин, поміщає їх у буфер, потім захоплює ще один комплект вхідних величин через певний проміжок часу і порівнює його з даними в буфері.

Якщо другий комплект виявиться ідентичним першому, вхідні величини вирушають у мікропроцесор для обробки. В аварійних перехідних режимах мікропроцесору доводиться обробляти великі масиви інформації в режимі реального часу, що супроводжується швидкими і значними змінами вхідних сигналів, і для цього йому потрібен певний час (інколи сотні мілісекунд).

Ще гірше, якщо після запуску мікропроцесора характер аварії змінився (наприклад замикання на землю однієї фази перейшло у двофазне, а потім і трифазне); тоді запущений процес обчислення переривається і всі вимірювання починаються спочатку.

Забезпечення надійної і безперебійної роботи ЕУ нерозривно пов'язано з підвищенням технічного рівня релейного захисту й автоматики, впровадженням комплексної автоматизації керування робочими, аварійними і післяаварійними режимами, характерними єдністю і безперервністю виробництва, розподілу і споживання електричної енергії. Перехід на нову елементну цифрову базу не призводить до зміни принципів релейного захисту й електричної автоматики, а тільки розширює її функціональні можливості, спрощує експлуатацію. Саме з цих причин мікропроцесорними реле заміщають застарілі електромеханічні і мікроелектронні реле.

Тема 2. Релейний захист.

1. Класифікація та характеристика реле і параметри реле різних видів та типів

Індукційні реле

Реле серії РТ-80

Це найпоширеніше реле індукційного типу. Крім того, реле поєднує електромагнітний принцип - реле з поворотним якорем.

Індукційні реле серії РТ-80 (раніше ІТ-80) експлуатують в енергосистемах більше ніж 60 років. На їх основі виконують струмові захисти ліній 6 – 35 кВ, захисти трансформаторів невеликої потужності та захисти асинхронних двигунів.

Реле складається з двох функціональних елементів – електромагнітного та індукційного. Електромагнітний елемент створює струмову відсічку без витримки часу, індукційний - максимальний струмовий захист з витримкою часу. Отже, на базі одного реле РТ-80 можна створити двоступеневий струмовий захист. Крім того, реле має сигнальний орган, який сигналізує про його спрацювання, тобто реле РТ-80 містить і вказівне реле.

Принцип роботи реле серії РТ-80 ґрунтується на електромагнітному та індукційному принципах. Рис. 2.1 ілюструє електромагнітний принцип роботи реле.

У цьому реле перемикання контактів рухомого 3 та нерухомого 4 відбувається під дією електромагнітної сили притягання феромагнітного якоря 2 до електромагніту 1. Поворот якоря та притягання до електромагніту здійснюється через шарнір 7. На магнітопроводі електромагніту 1 розташована котушка 5, по якій протікає струм реле I_p . Струм I_p створює магнітний потік Φ_m , який пронизує магнітопровід, повітряний проміжок, якір. Напрямок силових ліній магнітного потоку визначають за правилом свердлика. Між якорем і електромагнітом виникає електромагнітна сила притягання, яку визначають з виразу

$$F_{em} = k \left(\frac{I_p w}{\delta} \right)^2 ,$$

де k – коефіцієнт пропорційності;

w – кількість витків котушки реле;

δ – величина повітряного проміжку.

Якір притягнеться до електромагніту за відповідного струму в обмотці $I_{c.p}$ (струмі спрацювання реле), коли намагнічувальна сила F_{em} буде більша від сили натягу пружини 6. Після притягання якоря до електромагніту контакти 3 та 4 замкнуться. Після зменшення струму I_p в обмотці до значення $I_{пов.p}$ (струму повернення реле), коли сила натягу пружини переважатиме електромагнітну силу, якір відпаде від електромагніту і контакти 3 та 4 розімкнуться. Збільшення сили натягу пружини призводить до збільшення струму спрацювання реле і навпаки. З виразу для F_{em} видно, що збільшенням кількості витків можна зменшити струм спрацювання реле. Сила притягання обернено пропорційна до квадрата величини повітряного проміжку δ . Тому зі зменшенням проміжку δ швидкість руху якоря різко зростає і спрацювання реле відбувається за соті частки секунди.

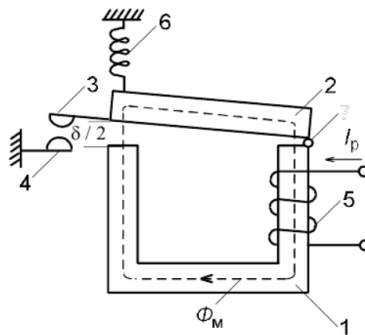


Рисунок 2.1 – Принцип роботи електромагнітного елемента реле РТ-80

Отже, струм спрацювання електромагнітного реле можна регулювати за допомогою:

- зміни кількості витків;
- зміни повітряного проміжку;
- зміни натягу пружини.

Рис. 2.2 ілюструє принцип дії індукційного елемента реле.

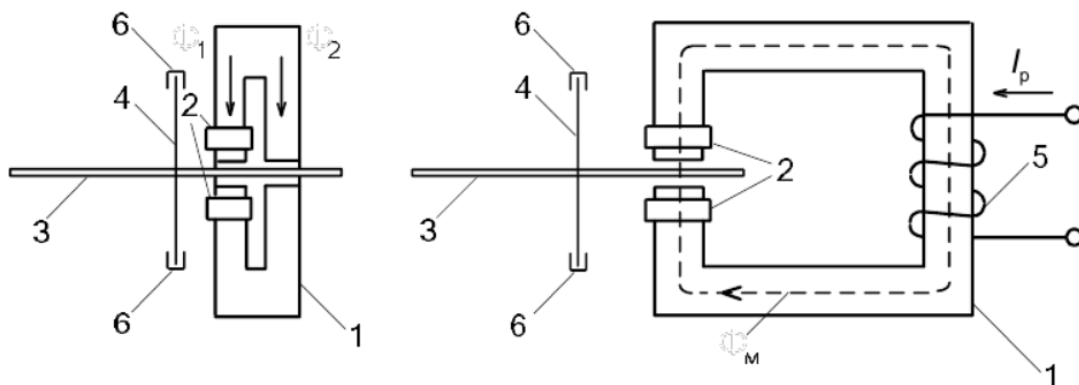


Рисунок 2.2 – Принцип дії індукційного елемента реле РТ-80

На рис. 2,2 електромагніт та диск показані в двох проекціях. Реле складається з магнітопроводу 1, на якому розташована обмотка 5. Металевий диск 3 обертається на осі 4, і проходить через повітряний проміжок в магнітопроводі 1.

Диск обертається в підп'ятниках 6. Для створення моменту, котрий обертає диск, необхідно створити два магнітні потоки, зміщені в просторі та часі (Φ_1 та Φ_2). Конструктивно це досягається тим, що частину верхнього та нижнього полюсів магнітопроводу електромагніту охоплюють короткозамкнені мідні кільця (екрани) 2. Через магнітопровід з короткозамкненими витками протікає частина потоку $\Phi_m - \Phi_2$, через решту магнітопроводу - інша частина потоку $\Phi_m - \Phi_1$. Потік Φ_1 індукує в короткозамкнених витках ЕРС E_k , котра своєю чергою спричиняє протікання струму в цих витках I_k .

У результаті взаємодії магнітного потоку Φ_1 з металевим диском в ньому за законом електромагнітної індукції наводиться ЕРС E_1 , під дією якої циркулюють вихрові струми (струми Фуко) I_1 . Аналогічно потік Φ_2 спричиняє струм I_2 .

У результаті взаємодії потоку Φ_1 з струмом I_2 , потоку Φ_2 з струмом I_1 виникають електромагнітні сили F_1 та F_2 , які утворюють обертовий електромагнітний момент M_{em} . Магнітний момент індукційного елемента

пропорційний квадратові струму в обмотці реле. Це справедливо тільки для ненасиченого магнітопроводу реле. Після насичення зі збільшенням струму магнітний потік Φ , відповідно, момент практично не змінюються.

Крім електромагнітного моменту $M_{\text{ем}}$ на диск діє і динамічний момент гальмування, який визначається тертям в опорах, опором повітря та моментом, який зумовлений постійним магнітом гальмування. Постійний момент гальмування створюється постійним магнітом, який охоплює диск. Остання складова моменту гальмування є визначальною. Швидкість обертання диска ω пропорційна квадрату струму в реле.

Якщо контакти реле зв'язати з диском через черв'ячну передачу (рис. 2.3), то, як тільки струм у реле досягне струму його спрацювання і черв'ячна пара ввійде в зчеплення, то контакти реле замкнуться через фіксовану кількість обертів диска. Отже, на базі індукційного реле створюється елемент витримки часу. Час спрацювання такого елемента визначають з виразу

$$t = \frac{n}{\omega} = \frac{nk_2}{k_1 I_p^2},$$

де n – фіксована кількість обертів, що змінюється початковим положенням сектора черв'ячної пари. Чим більший струм у реле, тим менший час його спрацювання, тобто отримується обернено залежна часова характеристика спрацювання реле (рис. 2.4)

Характеристика має залежну А і незалежну Б від струму частини. Наявність незалежної частини Б пояснюють насиченням магнітопроводу. У разі насичення магнітопроводу подальше збільшення струму в обмотці реле не призводить до збільшення електромагнітного моменту, він практично не змінюється.

Електромагнітний елемент реле (рис. 2.3) утворений на базі магнітопроводу 16 з котушкою 12 і якоря відсічки 9, діє на систему контактів - рухомого 7 та нерухомого 6. Зміну проміжку між магнітопроводом 16 і якорем відсічки 9 здійснюють за допомогою гвинта

регулювання 10. У цьому разі змінюється струм спрацювання електромагнітного елемента реле.

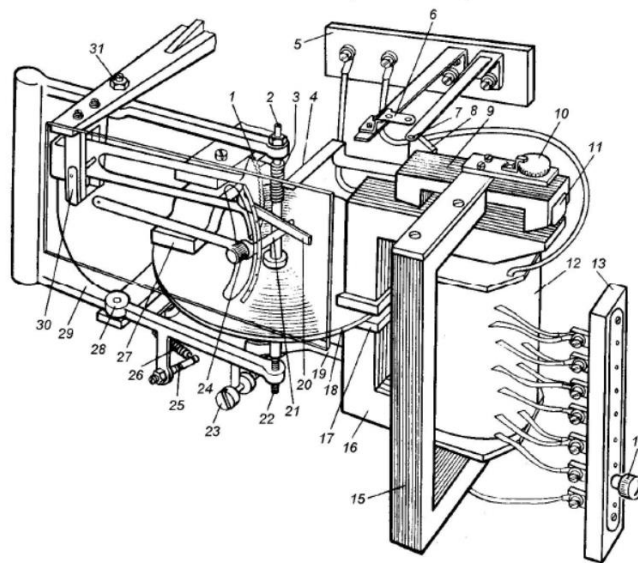


Рисунок 2.3 – Конструкція реле РТ-80:

1 - зубчастий сектор; 2 - верхня опора диску; 3 - черв'як; 4 - фігурний важіль;
5 - контактна колодка; 6 - нерухомий контакт; 7 - рухомий контакт; 8 -
текстолітова пластина; 9 - якір відсічки; 10 - регулювальний гвинт відсічки;
11 - короткозамкнений виток якоря; 12 - котушка; 13 - штепсельний місток;
14 - штепсельний гвинт; 15 - шунт магнітопроводу; 16 - магнітопровід; 17 -
екрани; 18 - диск; 19 - скоба; 20 - штовхач; 21 - опора; 22 - нижня опора
диска; 23 - опорний. 15 - гвинт; 24 - фасонний гвинт; 25 - регулювальний
гвинт пружини; 26 - пружина; 27 - постійний магніт; 28 - нижня опора
рамки; 29 - рамка; 30 - піввісь сектора; 31 - верхня опора рамки

Магнітопровід 16 слугує також для індукційного елемента реле. Рухома частина індукційного елемента являє собою алюмінієвий диск 18, який обертається між полюсами магнітів, частина яких охоплена короткозамкненими витками 17. Вісь диска встановлена на двох опорах і рамці 29, яка обертається на опорах 28, 31, закріплених у цоколі реле. На осі диска закріплено черв'як 3. Другим елементом черв'ячної пари є зубчатий сектор 1, який обертається на двох півосях 30. На секторі розташований штовхач 20, який рухає якір відсічки 9. Штовхач 20 лежить на опорі 21,

останню фіксують гвинтом 24. Зміною положення опори 21 виставляють необхідну витримку часу реле. Обертову рамку 29 фіксують гвинтом 23. Рамка відтягнута в крайнє положення зворотною пружиною 26, натяг якої регулюють гвинтом 25.

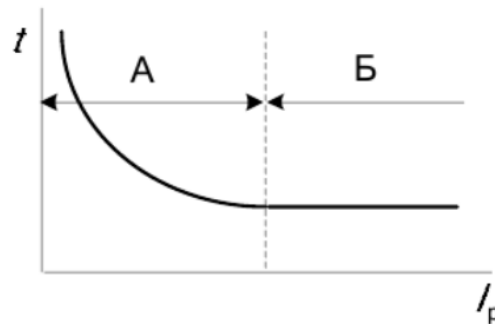


Рисунок 2.4 – Часова характеристика індукційного елемента реле

Постійний магніт 27 є складовою частиною магнітної системи реле. Він створює момент гальмування, пропорційний частоті обертання диска, чим забезпечують стабільність характеристик реле. Крім того, постійний магніт зупиняє обертання диска після скидання струму і, отже, зменшує інерційність вибігу реле.

Після збільшення струму в реле до струму спрацювання, диск 18 вже обертається, рамка 29 разом з диском повертається і черв'як 3 входить у зчеплення з зубчатим сектором 21. Зубчатий сектор піднімається разом з штовхачем 20 і приводить до притягання якоря 9 магнітопроводом 16. Швидкість обертання диска і, відповідно, швидкість піднімання штовхача 20 залежить від величини струму в реле. Після зникнення струму в обмотці 12 рамка 29 відтягується пружиною, роз'єднується черв'ячна пара і зубчатий сектор 1 падає на опору 21, контакти реле розмикаються.

Уставку струму спрацювання реле РТ-80 визначають кількістю витків котушки, яку виставляють гвинтом 14, що вкручують у відповідне гніздо штепсельного містка 13.

3. Автоматика систем електропостачання

Згідно вимог ПУЕ-86 (3.2.91-105) для ліній напругою 3-35 кВ з ізольованою нейтраллю повинен бути забезпечений релейний захист від багато- і однофазних замикань на землю.

Захист від багатофазних замикань необхідно виконувати в двофазному виконанні і включати на одні і ті ж фази по всій довжині лінії даної напруги для забезпечення відключення.

Сучасні мікроелектронні та мікропроцесорні пристрої захисту РЗЛ-01 БАТ ЕТЗ "РЕЛСіС", УЗА-10, УЗА-АТ; МРЗС-05 ВО "Київ-прилад", MICOM P123...126 фірми ALSTOM; SEPAM 1000+; NICH LINE фірми SEG; "М" LINE фірми Microelettrica Scientifica реле IM30-AP і інші виконують функції релейного захисту, автоматики, управління і сигналізації приєднань напругою від 0,4 до 110 кВ.

Максимальний струмовий захист

В схемах електропостачання сільськогосподарських споживачів напругою до 35 кВ основним видом релейного захисту повітряних ліній є максимальний струмовий захист (МСЗ).

МСЗ виконується з незалежною витримкою часу з застосуванням реле серій РТ-40, РС40М, РС40М2, АЛ-1, РСТ11...РСТ14 і реле часу РВМ12, ВЛ-64...69, ВЛ-73...79, ВЛ-100...104, 108.

МСЗ із залежною або обмежено залежною витримкою часу від величини струму, що протікає, виконується за допомогою реле типів РТ-80, РТ-90, РС80М, які мають пусковий орган і орган витримки часу.

Максимальний струмовий захист контролює струм в елементі, що захищається, відстроюється від струму навантаження, і при перевищенні струму уставки, з витримкою часу діє на його відключення.

Принцип виконання захисту показано на рисунку 2.5 для мережі з однобічним живленням. При короткому замиканні у точці К1 для селективності необхідно відключити тільки вимикач Q1 ушкодженої лінії, в період коли струм протікає через захисти зон 1,2,3.

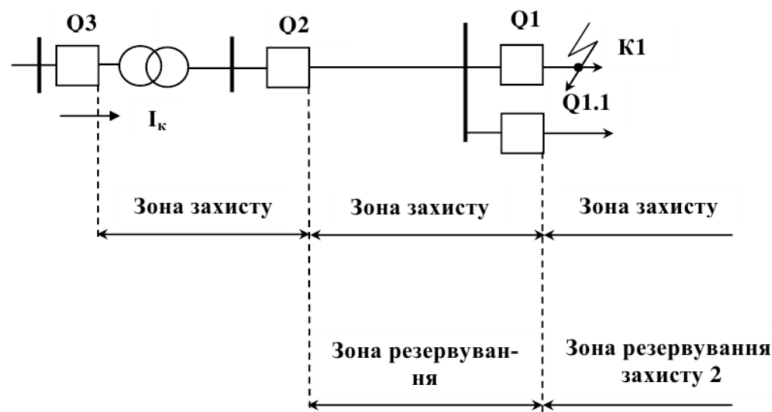


Рисунок 2.5 – Розташування захистів та їх зон дії для схеми з
однобічним живленням

Максимальний струмовий захист характеризується відносною селективністю, яка не тільки забезпечує відключення к. з. на своїй лінії, а якщо дозволяє її чутливість, ще й резервує відключення к. з. суміжної ділянки.

Селективність максимального захисту забезпечується витримкою часу. Витримки часу суміжних МСЗ відрізняються на величину, яка має назву ступінь селективності.

Ступінь селективності - це мінімально можлива різниця між часом спрацювання суміжного захисту, що враховує точність роботи реле. Для захистів, які виконані на електромеханічній базі, стандартна ступінь селективності Δt складає 0,5 с. Мікроелектронний та мікропроцесорний захисти дозволяють забезпечити ступінь селективності, яка дорівнює 0,2-0,3 с. Недоліком МСЗ є те, що в міру наближення місця установки захисту до джерела живлення збільшується його витримка часу. Для швидкого відключення к. з. і зменшення обсягу ушкодження, захист виконується ступінчастим. Крім максимального струмового захисту, застосовується також струмова відсічка.

Струмова відсічка

Струмова відсічка (ВС) - захист, який відстроєний від зовнішніх струмів короткого замикання є першим ступенем захисту і працює, звичайно,

без витримки часу. Принципова відмінність струмової відсічки від максимального струмового захисту полягає у тому, що його відстроюють не від робочих струмів, а від струмів короткого замикання при зовнішньому к. з.. Для забезпечення селективності, ВС відстроюється від струму короткого замикання наприкінці лінії (к. з. за трансформатором). За принципом дії струмова відсічка використовує зменшення величини струму при віддаленні точки к. з. від джерела живлення. Таким чином, захист лінії виконується двохступінчастим: максимальний струмовий захист і струмова відсічка.

Захист від замикань на землю

Захист від однофазних замикань на землю встановлюється на всіх лініях 6-35 кВ, на шинах РП, які працюють у мережах із ізольованою та заземленою нейтраллю через дугогасильний реактор.

Як правило, такі захисти діють на сигнал, проте, застосування даного захисту доцільно, тому що місце замикання на землю потрібно відшукати і відновити нормальний режим роботи лінії. Крім того, пошкодження в місці замикання на землю розвивається, і згодом може призвести до короткого замикання. Уповільненість дій персоналу може призвести до розвитку пошкодження в місці замикання на землю й привести до короткого замикання. Істотним ускладненням є те, що струм замикання на землю має дуже малу величину. Ця величина, сумірна з небалансом у нульовому провіді трансформаторів струму, тому в нульовий провід захист від замикань на землю не включається.

Для захисту від замикань на землю використовують спеціальні трансформатори струму нульової послідовності (ТЗ, ТЗЛ, ТЗР), які можна застосувати тільки при наявності кабельного виводу з комірки. У мережах з нейтраллю, які заземлені через дугогасильний реактор, рекомендується застосовувати пристрої типів УЗС-2/2, УЗС-3М, які реагують на суму вищих гармонік у струмі замикання на землю.

Тема 3. Елементи пристроїв РЗА

1. Фільтри

Фільтри симетричних складових

Фільтри симетричних складових струму і напруги виділяють струм або напругу прямої, зворотної або нульової послідовності при порушенні симетричного режиму трифазної системи.

Фільтр струму зворотної послідовності

Фільтр струму зворотної послідовності типу РТФ-1М складається з трансформатора струму ТА і трансреактора ТАВ, кожний з яких має по дві первинні обмотки, ввімкнені для конденсації струмів зворотної послідовності на різницю струмів двох фаз. Напруга на реостаті R1 рівна:

$$U_{R1} = K_1 I_C R_1 = K_1 (I_C - I_A) R_1$$

і співпадає з вектором струму I_C .

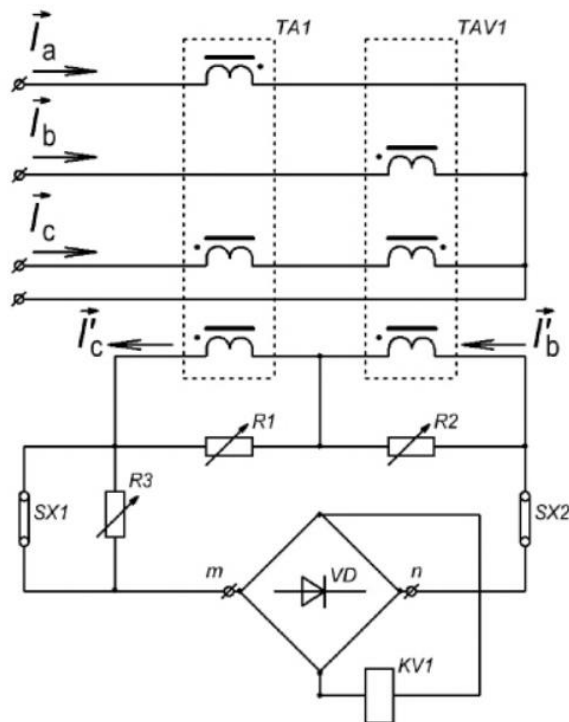


Рисунок 3.1 – Схема фільтра струму зворотної послідовності

При поданні на фільтр струму прямої послідовності струм на виході m-n відсутній за умови, якщо:

$$\frac{W_{1TA}}{W_{2TA}} R_1 = 0,5 \frac{W_{1TV}}{W_{2TV}} R_2 /$$

При поданні струму зворотної послідовності сума напруг на реостатах R_1 і R_2 рівна E_{mn} , яка пропорційна струму зворотної послідовності.

Фільтри струму нульової послідовності

Для виділення струму нульової послідовності використовують сумування фазних струмів.

Струми можна додавати, якщо вторинні обмотки ТС з'єднати паралельно однойменними виводами, а до точок з'єднання під'єднати реле КА. Такий фільтр називається тритрансформаторним первинним фільтром струму нульової послідовності. Для нього струм реле рівний сумі вторинних струмів ТС

$$I_p = I_a + I_b + I_c .$$

Струм нульової послідовності з'являється при пошкодженнях на землю. В інших режимах коли він відсутній, через реле проходить лише струм небалансу, який збільшується із збільшенням первинного струму та появи в ньому аперіодичної складової. Такий фільтр використовується для захисту елементів мереж з глухозаземленою нейтраллю. В мережах з ізольованою нейтраллю застосовується однотрансформаторний первинний фільтр - вимірний ТС нульової послідовності, який складається з тороподібного магнітопровода на якому розташовано вторинна обмотка. Трифазний кабель є первинною обмоткою. При замиканні на землю еквівалентний первинний струм визначається струмами нульової послідовності. Він обумовлює в магнітопроводі потік, який наводить електрорушійну силу у вторинній обмотці і викликає струм в реле. В інших режимах сума фазних струмів рівна нулю.

Суттєвою різницею між цими фільтрами є те, що струм небалансу ТС нульової послідовності визначається лише несиметрією розташування проводів фаз кабелю відносно магнітопровода і вторинної обмотки. Тому він значно менший і не перевищує 8 -10мА. Для збільшення чутливості

захисту замикань на землю ТС нульової послідовності виконують з підмагніченням.

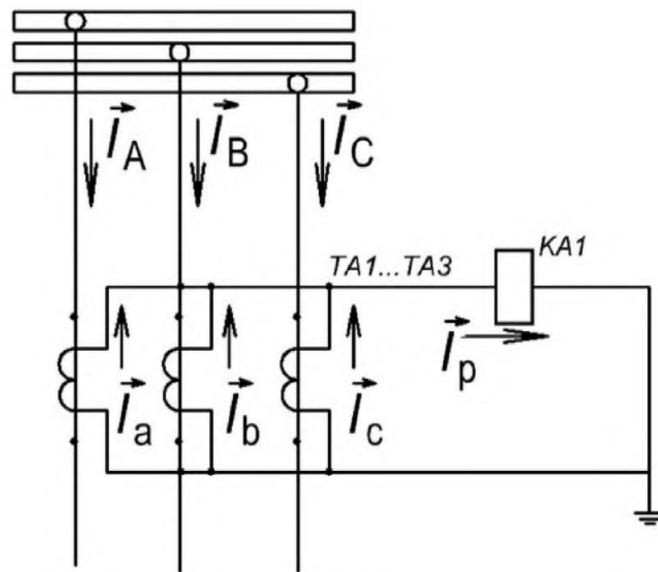


Рисунок 3.2 – Схема тритрансформаторного фільтру струму нульової послідовності

Фільтри напруги зворотної послідовності

Міжфазні напруги не мають складових нульової послідовності, тому фільтр виконується на лінійні напруги. Опори R_a , X_a , R_c , X_c вибираються так, щоб у разі відсутності на вході фільтра напруги зворотної послідовності, напруга на виході $U_{mn} = 0$. Ці опори вибираються з умови віддачі максимальної потужності.

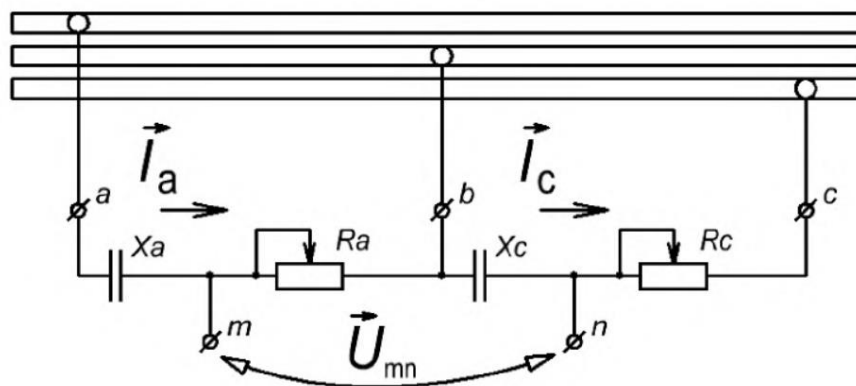


Рисунок 3.3 – Схема фільтра напруги зворотної послідовності

У разі появи на вході фільтри напруги зворотної послідовності, на виході з'являється напруга пропорційна напрузі зворотної послідовності.

Напруга небалансу визначається похибкою в роботі фільтра і наявністю деякої несиметрії системи вхідних напруг. Похибка збільшується при відхиленні частоти до номінальної величини. При цьому змінюється опір на конденсаторі і порушується відношення між активними і реактивними опорами. На такому принципі побудовано фільтр - реле РНФ-1М.

Якщо поміняти місцями вхідні затискачі, то можна отримати фільтр напруги прямої послідовності. Порушивши вказані співвідношення між активними і реактивними опорами можна отримати комбінований фільтр, який одночасно виділяє пряму і зворотну послідовність.

Фільтр напруги нульової послідовності

Для отримання напруги нульової послідовності використовуються однофазні (в мережах понад 35 кВ) і трифазні 5-стержневі (в мережах до 35 кВ) ТН. Для отримання напруги нульової послідовності обмотки ТН з'єднують у схему (рис. 3.4).

Напруга небалансу обумовлена вищими гармоніками і неоднаковою провідністю фаз системи відносно землі. Напругу нульової послідовності можна отримати, безпосередньо заземливши нейтраль системи через однофазний ТН. Така схема інколи використовується в мережах до 10 кВ. Вторинні фільтри нульової послідовності виконуються за допомогою з'єднання резисторів або конденсаторів зіркою і приєднання їх до вторинної обмотки первинного ТН. Крім того, може використовуватись проміжний ТН зі схемою з'єднань обмоток зірка/ трикутник.

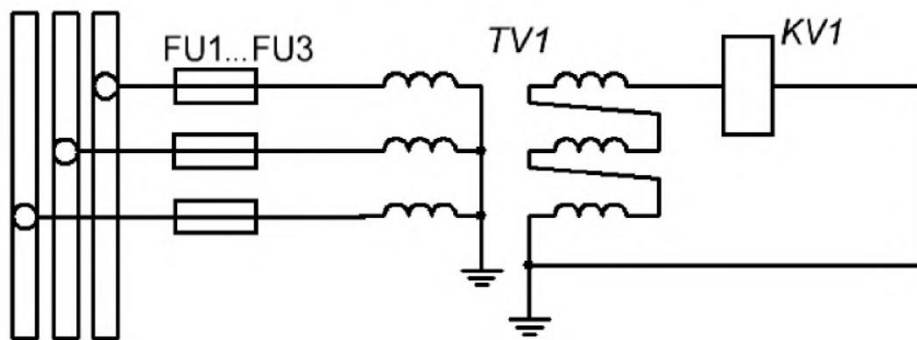


Рисунок 3.4 – Схема фільтра напруги нульової послідовності

2. Блоки живлення

Для роботи пристроїв автоматики, управління, сигналізації, релейного захисту необхідне живлення від зовнішніх джерел електричної енергії. Ці джерела називають джерелами оперативного струму. На практиці застосовують джерела змінного та постійного оперативного струмів.

Оскільки джерела оперативного струму визначають працездатність пристроїв автоматики, управління, релейного захисту тощо, до них пред'являють підвищені вимоги щодо надійності функціонування.

Надійнішими джерелами постійного оперативного струму є акумуляторні батареї. Основною перевагою цього виду джерела оперативного струму є незалежність його від режиму роботи електричних станцій та підстанцій, тобто навіть у разі повного знеструмлення силового обладнання електричних станцій чи підстанцій, їх пристрої автоматики та релейного захисту продовжуватимуть функціонувати. Крім того, акумуляторні батареї можуть витримувати значні короточасні перевантаження, що особливо важливо під час виникнення аварійних ситуацій, коли одночасно працюють декілька пристроїв захисту, автоматики та систем управління, що сумарно споживають значну кількість електроенергії.

Поряд з очевидними перевагами джерела постійного оперативного струму з застосуванням акумуляторних батарей мають деякі недоліки, основними з яких є:

- висока вартість акумуляторних батарей;
- потреба в спеціальному приміщенні для розміщення акумуляторних батарей;
- складність організації мережі постійного струму на значній території електричної станції чи підстанції;
- необхідність у висококваліфікованому обслуговуючому персоналі.

Тому схеми постійного оперативного струму застосовують на об'єктах з постійно присутнім оперативним персоналом – на електричних станціях та потужних підстанціях. Цей вид оперативного струму недоцільно застосовувати на підстанціях напругою 110 кВ та нижче, де, зазвичай, відсутній оперативний персонал. На цих підстанціях здебільшого застосовують джерела змінного або випрямленого оперативного струму.

Блоки живлення призначені для забезпечення оперативним виправленим струмом пристроїв РЗА. Вони вмикаються до первинних ТС або ТН і до трансформаторів власних потреб.

Блоки живлення мають проміжний насичувальний ТС і двопівперіодний випрямляч. Насичувальний ТС забезпечує досить стабільну напругу на виході блока живлення при зміні первинного струму в широких межах. Конденсатор C_i забезпечують з колом намагнічувального трансформатора ферорезонансну стабілізацію напруги на виході блока. За такою схемою побудовані блоки живлення струму (БПТ) і блоки живлення напруги (БПН).

Як короткочасні джерела оперативного струму використовуються конденсаторні батареї, заряджені в нормальному режимі роботи за допомогою зарядних пристроїв (на схемі рим. 3.6 показані пунктиром).

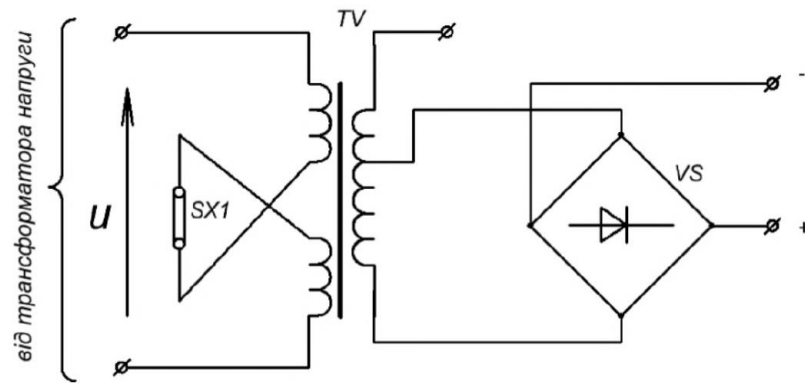


Рисунок 3.5 – Схема блока живлення з двопівперіодним випрямлячем

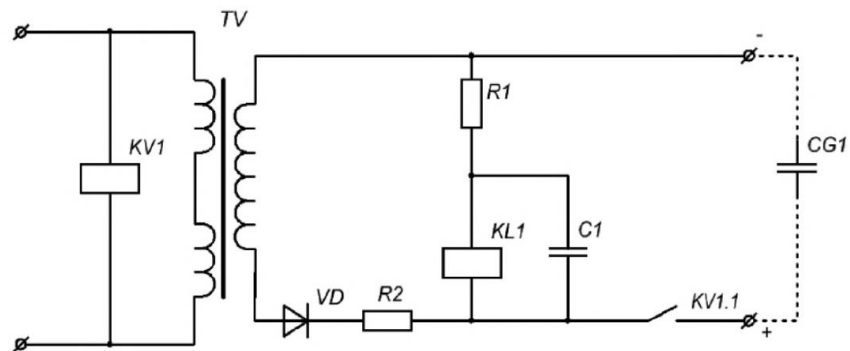


Рисунок 3.5 – Схема конденсаторного блока живлення

Для сповільнення розряду конденсатора $C2$ вмикається резистор R , діод VD не допускає розряд конденсатора при зниженні струму на вході блока. За такою схемою побудовані блоки живлення і заряду типу БПЗ.

Тема 4. Захист і автоматика мереж напругою до 1 кВ

1. Захист від однофазних КЗ на землю в чотирипровідній мережі з глухозаземленою нейтраллю

Плавкі запобіжники і розчіплювані автоматичних вимикачів, які ввімкнені на повні струми фаз, відлагоджуються від максимального струму лінії, що захищається. Цей струм може бути рівний струму однофазного КЗ при пошкодженні в кінці лінії довжиною біля 1 км, з іншого боку струми однофазних КЗ менші, ніж струми пошкоджень між фазами. Тому чутливість запобіжників і розчіплювачів автоматичних вимикачів при виникненні однофазних КЗ не достатньо. Використання струму нульової послідовності дозволяє отримати чутливіший захист, оскільки немає необхідності відлагоджувати його від максимального робочого струму. Такий захист є в автоматичних вимикачах типу ВА, але розчіплювач не дозволяє відлагодити струм спрацювання захисту, оскільки він встановлюється заводом і складає $(0,5-1) I_{p.ном}$, а витримка часу регулюється лише пристроєм відсічки.

Тому використовують захист нульової послідовності, розроблений спеціально для мереж до 1 кВ з глухозаземленою нейтраллю ФО-0.4.

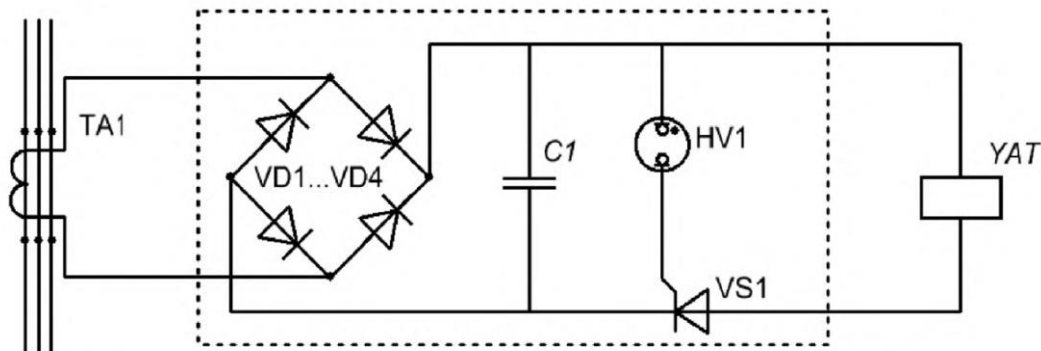


Рисунок 4.1 – Схема захисту нульової послідовності

Цей пристрій вмикається до одностансформаторного ТС нульової послідовності ТА1. При рівності напруги на конденсаторі С і постійної напруги неоновій лампі НВ остання відкриває тиристор VDT в колі електромагніта вимкнення УА (незалежного розчіплювача). Швидкість

збільшення напруги на конденсаторі визначається струмом пошкодження, тому захист має залежну від струму витримку часу.

Недоліки пристрою:

1. Необхідність відлагодження струму спрацювання від струму робочої несиметрії, який може досягати половини максимального робочого струму лінії.

2. Мінімальна уставка пристрою становить 30 А, а струм КЗ на землю може бути кілька ампер.

Для збільшення малого струму КЗ, використовуються короткозамикачі, виконані на базі автоматичного вимикача типу АП -50. Як діюча величина застосовується струм у нульовому проводі або напруга зворотної послідовності.

Недоліком є необхідність створення штучного КЗ.

Тема 5. Захист повітряних ліній

1. Максимальний струмовий захист повітряних ліній 35 кВ

Селективність роботи струмових захистів не забезпечується без контролю напрямку протікання струмів у лініях з двостороннім живленням, а також у складних мережах з декількома джерелами живлення, наприклад, у міських мережах.

Продемонструємо це на конкретному прикладі. На рис. 5.1 наведена мережа з двостороннім живленням, що захищають максимальними струмовими захистами без контролю напрямку протікання струмів у цій мережі. Під час к.з. в точці К1 на лінії Л1 для забезпечення селективної роботи МСЗ необхідно, щоб час t_2 спрацювання МСЗ лінії Л1 (А2) був меншим від часу t_3 спрацювання МСЗ лінії Л2 (А3) ($t_2 < t_3$). А під час к.з. в точці К2 на суміжній лінії Л2 для забезпечення селективності необхідно, щоб час t_2 спрацювання МСЗ лінії Л1 (А2) був більшим від часу t_3 спрацювання МСЗ лінії Л2 (А3) ($t_2 > t_3$). Тобто до МСЗ А2 та А3 висунуті взаємовиключні вимоги: $t_2 < t_3$ і $t_2 > t_3$, що є неможливим.

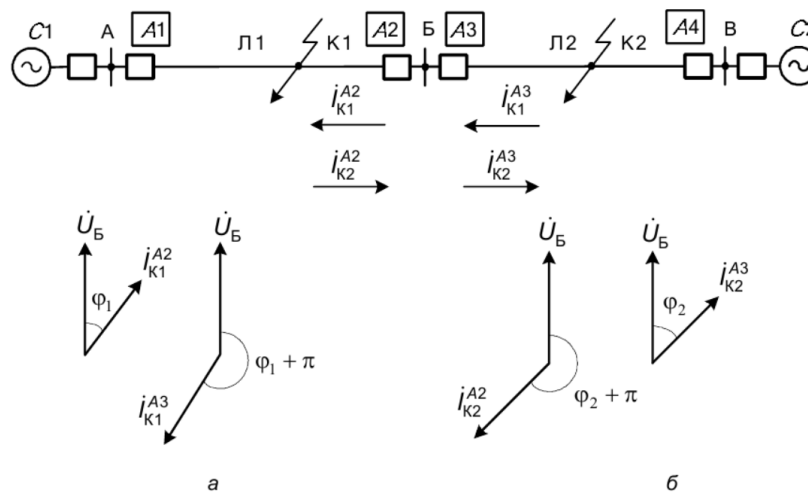


Рисунок 5.1 – Максимальний струмовий спрямований захист

Для захисту А3 за короткого замикання в точці К1 потужність к.з. протікає від лінії до шин, а за короткого замикання в точці К2 – від шин у лінію.

Отже, для забезпечення селективності захист повинен діяти за спрямування потужності к.з. від шин у лінію. Захист, який забезпечує цю умову, називають струмовим спрямованим захистом.

На відміну від МСЗ, неспрямовані струмові відсічки та неспрямовані струмові відсічки з витримкою часу можна застосовувати в мережах з двостороннім живленням, але в цьому разі їх чутливість не завжди забезпечується. Тому в таких мережах застосовують спеціальні струмові захисти – максимальні струмові спрямовані захисти та спрямовані струмові відсічки.

Принципова схема максимального струмового спрямованого захисту (МССЗ) показана на рис. 5.2. Вимірний орган захисту складається з двох елементів – максимального струмового реле КА та реле спрямування потужності КВ. Логічний елемент (реле часу КТ) пускатимуться у разі одночасного спрацювання обох реле – КА та КВ. Якщо час тривання к.з. буде більший за витримку часу реле КТ, то останнє забезпечить спрацювання електромагніту УАТ вимкнення вимикача Q.

Як видно з векторної діаграми (рис. 5.1, а), за короткого замикання в точці К1 для захисту А2 кут $\varphi_1 < 90^\circ$, а для захисту А3 цей кут становить $\varphi_1 + 180^\circ$; за короткого замикання в точці К2 для захисту А3 (рис. 7.18, б) цей кут становить $\varphi_2 < 90^\circ$, а для захисту А3 – становить $\varphi_2 + 180^\circ$.

Отже, для забезпечення селективної роботи спрямованого МСЗ необхідно, щоб захист працював за кута між напругою та струмом к.з. $\varphi < 90^\circ$. За таким кутом повинен працювати орган спрямування потужності – реле КВ. За кутом $\varphi > 180^\circ$ цей орган не повинен працювати, а повинен блокувати роботу захисту.

Отже, для забезпечення селективності роботи захисту орган спрямування потужності повинен спрацьовувати у разі спрямування струму (потужності) від шин у лінію.

Органи спрямування потужності можна вмикати на повні струми фаз лінії, або на нульову чи обернену послідовності струмів та напруг.

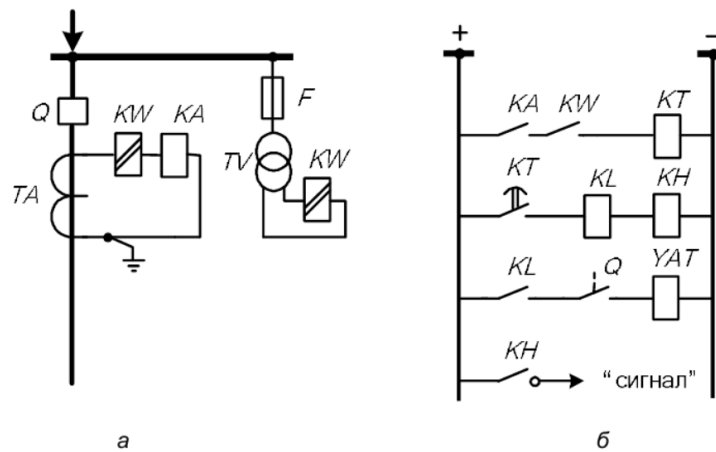


Рисунок 5.2 – Принципова схема МССЗ: а – струмові кола; б – оперативні кола

Основні особливості спрямованих струмових захистів:

- ці захисти, зазвичай, забезпечують селективну роботу в мережі з двостороннім живленням, що складається з послідовно увімкнених ланок – окремих ліній (рис. 5.1); в кільцевій мережі з одностороннім живленням; в мережах з послідовним з’єднанням ланок (ліній) з будь-якою кількістю транзитних підстанцій з джерелами живлення;

- селективність роботи спрямованих струмових захистів не забезпечується в кільцевих мережах з кількома джерелами живлення, а також в кільцевих мережах з одним джерелом живлення, коли є “діагональні” лінії, що не з’єднані з джерелом живлення;

- струмові відсічки та струмові відсічки з витримкою часу можна виконувати неспрямованими, але тоді погіршується чутливість окремих комплектів захисту.

Максимальні струмові захисти обов’язково виконують спрямованими;

- у разі виникнення аварійних перевантажень (наприклад, за вимкнення частини генераторів в одній зі систем, до якої під’єднана ця лінія) може не забезпечуватись необхідна чутливість;

- за виникнення хитань у системі можлива хибна робота струмових спрямованих захистів;

– струмові спрямовані захисти від міжфазних к.з. застосовують у мережах до 35 кВ включно. У мережах вищого класу напруг їх, зазвичай, застосовують як захисти нульової послідовності від к.з. на землю.

2. Захист від замикань на землю в повітряних лініях з ізольованою нейтраллю

В Україні всі мережі з напругою від 1000 В до 35 кВ включно працюють з ізольованими або заземленими через дугогасильний реактор нейтраллями (компенсованими нейтраллями) .

Ці мережі, порівняно з мережами з ефективно заземленими нейтраллями, мають такі переваги:

– можливість довготривалої роботи мережі за наявності в ній однофазного замикання на землю;

– велика імовірність самопогасання дуги, що часто виникає за однофазних замикань на землю, тобто можливість самоліквідації пошкодження;

– простіша реалізація мережі, тому що немає потреби встановлювати робоче заземлення нейтралі.

Але такі мережі, як показав досвід експлуатації, мають і недоліки. Основними з них є:

– більше значення допустимого опору заземлення корпусів обладнання (визначають з умови напруги "дотику") порівняно з мережами з ефективно заземленими нейтраллями;

– виникнення істотних перенапруг, особливо за дугового однофазного замикання на землю;

– велика імовірність виникнення ферорезонансних процесів, що супроводжуються перенапругами як на субгармоніках, так і на вищих частотах. Це призводить до пошкодження електромагнітних трансформаторів напруги і виникнення повторних однофазних замикань та подвійних замикань;

- прискорення старіння ізоляції за дії перенапруг;
- погіршення умов електробезпеки людей та тварин за недопустимо великих напруг дотику та небезпечних крокових напруг, що виникають за однофазних замикань на землю і обривів проводів ліній електропередавання.

Як свідчить досвід експлуатації таких мереж, кількість однофазних замикань на землю становить 75–90% від загальної кількості пошкоджень. Однофазні замикання на землю ділять на дві групи:

- стійкі замикання. Це замикання зі стійким гальванічним зв'язком пошкодженої фази з землею. Цей зв'язок може бути металічним або через стійку дугу;
- нестійкі замикання на землю, що найчастіше виникають у таких мережах. Це дугові замикання з подальшим самопогасанням. Такий процес може бути одноразовим або повторюватись періодично.

За виникнення однофазного замикання на землю в мережах з ізольованими або компенсованими нейтраліми струм замикання не перевищує кількох або кількох десятків ампер. Тому в таких мережах дуже складно виконати чутливий селективний струмовий захист від замикань на землю.

Можна визначити такі особливості режиму усталеного однофазного металічного замикання на землю в ненавантаженої мережі з ізольованою нейтраллю :

- зміщення (напруга відносно землі) нейтраль мережі дорівнює напрузі пошкодженої фази (в протифазі) за доаварійного режиму;
- напруги непошкоджених фаз В та С відносно землі зростуть в $\sqrt{3}$ разів – до значень міжфазних (лінійних) напруг, а напруга пошкодженої фази А матиме потенціал землі ($U_A=0$);
- ємнісні струми непошкоджених фаз теж зростуть в 3 разів, а ємнісний струм пошкодженої фази (струм замикання на землю) зросте в три рази порівняно з доаварійним режимом.

У мережах з ізольованою або компенсованою нейтраллю режими однофазних замикань на землю мають такі особливості:

- виникає напруга нульової послідовності, за величиною дорівнює напрузі пошкодженої фази доаварійного режиму. Але напруга нульової послідовності може виникати і за інших режимів – зовнішніх к.з., за ферорезонансних процесів тощо. Тому за застосування захистів від замикань на землю, що реагують на напругу нульової послідовності, необхідно враховувати перелічені причини появи останньої;

- виникає струм нульової послідовності, що випереджує напругу нульової послідовності на кут 90° . Цей струм на початку пошкодженої лінії протікає від шин а в непошкоджених – до шин. Величина цього струму є порівняно незначною, залежить від кількості та довжини ліній мережі і становить від кількох ампер до декількох десятків ампер. У мережах з компенсованими нейтралями розподіл струму нульової послідовності інший і залежить від рівня компенсації цього струму;

- струм нульової послідовності містить гармонічні складові. Рівень цих складових може бути значним, особливо в мережах з компенсованими нейтралями. Рівень вищих гармонічних складових істотно зростає за дугових однофазних замикань на землю;

- виникають паралельний, послідовний ферорезонанси, тривала наявність яких призводить до термічного пошкодження первинної обмотки трансформаторів напруги та виходу їх з ладу.

Захисти від однофазних замикань на землю в мережах з ізольованими чи компенсованими нейтралями повинні діяти на сигнал або на вимкнення. На вимкнення ці захисти повинні діяти обов'язково тоді, коли є висока імовірність небезпеки ураження струмом людей. В усіх інших випадках захист може діяти на сигнал, з подальшим пошуком та вимкненням пошкодженого об'єкта.

Практично всі наявні пристрої захисту ліній від однофазних замикань на землю в мережах з ізольованими або компенсованими

нейтралями використовують особливості, наведені раніше. Тому вхідні величини цих пристроїв – напруга та струми нульової послідовності ліній. Схеми під'єднання вимірних органів захистів від замикань на землю наведені на рис. 5.3. Вимірні органи напруги та струму нульової послідовності під'єднують відповідно до вторинної обмотки трансформатора напруги, з'єднаної за розімкненим трикутником (рис. 5.3, а), а вимірні органи струму – до трансформаторів струму нульової послідовності, що встановлюють на кабелях (рис. 5.3, б, в).

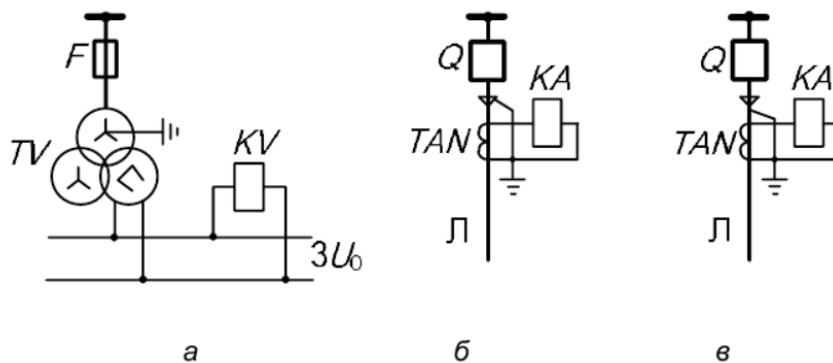


Рисунок 5.3 – Схеми під'єднання вимірних органів нульової послідовності:
а – вимірні органи напруги; б, в – вимірні органи струму

Застосовують трансформатори струму нульової послідовності типу ТЗЛ, ТЗЛМ, що мають кільцевий магнітопровід з вторинною обмоткою, покритою литою ізоляцією на основі епоксидних смол, а також типу ТЗРЛ з роз'ємним магнітопроводом. Трансформатори струму типу ТЗЛ, ТЗЛМ повинні надягатись на кабель до його кінцевої розробки. Трансформатори струму типу ТЗРЛ можна надягати на кабель вже після закінчення монтажу кабеля за рахунок роз'ємного магнітопроводу. Але їх роз'ємне осердя, за рахунок немагнітного проміжку, має більший магнітний опір, що зменшує чутливість вимірного органа, під'єданого до такого трансформатора. Крім того, магнітний опір роз'ємного осердя істотно залежить від ступеня стягування осердя. Тобто магнітні опори для трансформаторів струму, встановлених на різних кабелях, є неоднаковими.

Ці трансформатори нульової послідовності є малопотужними, тому що їх первинна обмотка має лише один виток, що утворюють жили кабеля, а величина струму замикання на землю в первинному колі є незначною. Тому чутливість захисту, вимірні органи якого приєднані до такого трансформатора струму, істотно залежить від опору вторинного навантаження цього трансформатора.

Для захисту ліній від однофазних замикань на землю в мережах з ізолюваними або компенсованими нейтралями в енергосистемах України застосовують, переважно, такі пристрої: – РТ-40/0,2, РН-53, ЗЗП-1, РТЗ-50, РТЗ-51, УСЗ-3, УСЗ-3м, УСЗ-2/2. Проте ці пристрої не завжди забезпечують відповідну чутливість та селективність, особливо в мережах з компенсованими нейтралями, а також за виникнення дугових замикань в мережах з ізолюваною нейтраллю. Тому, останнім часом, в енергосистемах почали впроваджувати нові – цифрові захисти, в яких використовують мікропроцесори, контролери, з достатньо складними алгоритмами функціонування як вітчизняних, так і зарубіжних фірм. Деякі зразки вже показали значну ефективність, порівняно з відомими пристроями.

Тема 6. Диференційні струмові захисти

1. Особливості поздовжнього диференційного захисту ліній

Основними особливостями виконання поздовжнього ДЗ лінії є значна довжина проводів, що з'єднують вторинні обмотки трансформаторів струму ТА1 та ТА2 схеми захисту, а також наявність двох комплектів захисту, встановлених на обох кінцях лінії. На рис. 6.1 показані вимірні органи двох комплектів захисту – реле КА1 та КА2.

Якщо номінальний вторинний струм трансформаторів струму ТА1, ТА2 (рис. 6.1) становить 5А, то опір їхнього вторинного навантаження

повинен бути незначним. Тому поздовжній диференційний захист практично виконують для ліній невеликої довжини (до кількох сотень метрів).

Зменшити еквівалентний опір вторинного навантаження можна за рахунок застосування проміжних ТА з коефіцієнтом трансформації $k_{ТА} > 1$.

Для виконання поздовжнього ДЗ у разі увімкнення вимірних реле на фазні струми трифазної мережі необхідно чотири проводи. Імовірність пошкодження цих проводів і, як наслідок, хибна робота захисту є доволі високою. Можна зменшити кількість з'єднувальних проводів до двох. Для цього застосовують комбіновані фільтри симетричних складових: комбінований фільтр прямої та оберненої послідовності або комбінований фільтр прямої та нульової послідовності.

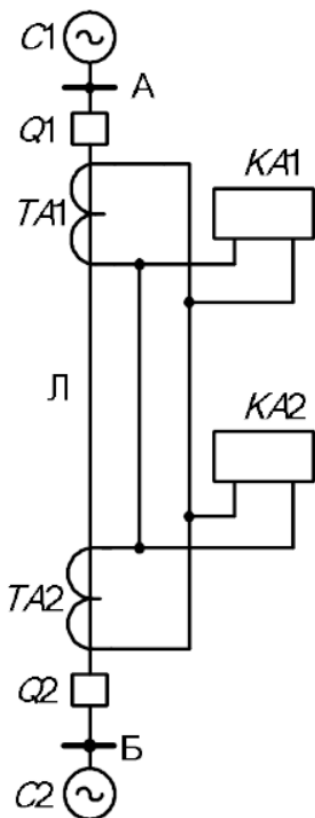


Рисунок 6.1 –
Виконання
поздовжнього
диференційного
захисту лінії

Поздовжній диференційний захист лінії має такі особливості:

- не потребує узгодження за струмом та часом із захистами суміжних об'єктів;
- не реагує на хитання в системі;
- діє без витримки часу і може застосовуватись для захисту ліній у мережі будь-якої конфігурації;
- захищає лінії невеликої довжини (до кількох сотень метрів);
- має два півкомплекти захисту на обох кінцях лінії;
- потребує довгих з'єднувальних проводів, що понижує надійність функціонування захисту;
- для унеможливлення хибної роботи захисту в ньому необхідно застосовувати спеціальну схему контролю ізоляції та цілісності з'єднувальних проводів;
- не реагує на пошкодження суміжних об'єктів. Тому він не може виконувати функції дальнього резервування.

Для захисту ліній електропересилання мереж з ефективно заземленою нейтраллю серійно випускають захист ДЗЛ-2. Він має пристрій, що блокує роботу захисту за обриву та зменшення опору ізоляції з'єднувальних проводів, які з'єднують виходи комбінованих фільтрів двох комплектів захисту, розміщених по кінцях лінії.

2. Поперечний диференційний захист ліній

Розглянемо принцип дії поперечного ДЗ двох паралельних ланок лінії електропересилання (рис. 6.2).

Такі лінії застосовують для мереж напругою до 20 кВ тоді, коли пропускна здатність однієї ланки лінії є недостатньою. Вимірний орган захисту вмикають на різницю струмів однойменних фаз ланок лінії. За прийнятого додатного напрямку струмів від шин у лінію, струм у реле

$$\dot{I}_p = \dot{I}_{21} - \dot{I}_{22}$$

Тому за короткого замикання на протилежних шинах у точці К1 в реле протікатиме струм небалансу, зумовлений різницею характеристик намагнічення трансформаторів струму.

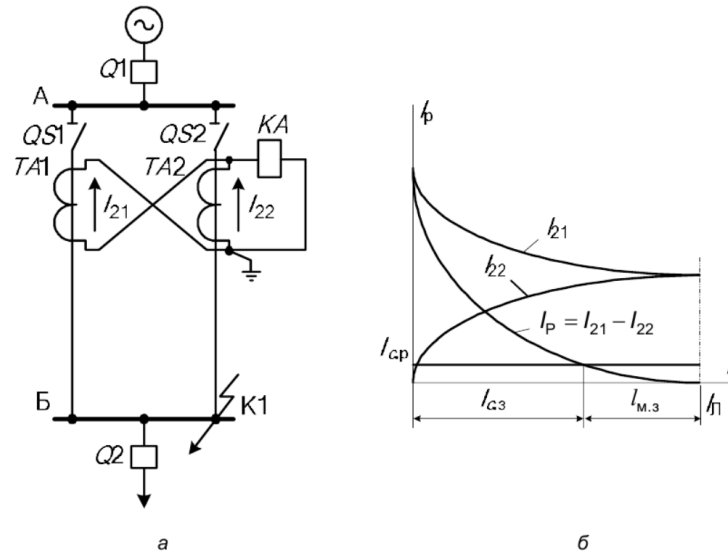


Рисунок 6.2 – Схема поперечного диференційного захисту ліній

Струм спрацювання реле поперечного ДЗ визначають з умови відведення від струму небалансу за короткого замикання на шинах протилежної підстанції в точці К1 (рис. 6.2) – для того, щоб захист не спрацював за коротких замикань на приєднаннях цих шин:

$$I_{с.р} = k_{від} I_{нб.макс} ,$$

$$I_{нб.макс} = 0,1 \cdot \frac{k_{ап} k_{одн} I_{к.з.макс}^{(3)}}{2k_{ТА}} ,$$

де $k_{від}=1,3$ – коефіцієнт відведення;

$\epsilon=10\%=0,1$ – допустима похибка трансформатора струму;

$k_{ап}$ – коефіцієнт, що враховує вплив аперіодичної складової в струмі зовнішнього к.з.;

$k_{одн}$ – коефіцієнт однотипності, враховує тип ТС, під'єднаних до схеми ДЗ: для однотипних ТС $k_{одн} = 0,5$, для різнотипних – $k_{одн}=1$;

$k_{ТА}$ – коефіцієнт трансформації ТС;

$I_{к.з.макс}^{(3)}$ – максимальний струм зовнішнього трифазного к.з.

У разі віддалення к.з. на ланці з ТА1 від шин А вторинний струм ТА1 зменшується, а ТА2 – зростає (рис. 6.2, б). У результаті струм I_p в реле в міру віддаленості від шин підстанції А зменшуватиметься. За короткого замикання поблизу шин протилежної підстанції Б він буде меншим від струму спрацювання реле КА і захист працювати не буде. Ділянку, за короткого замикання на якій захист не працює, називають "мертвою" зоною поперечного диференційного захисту. Її довжина – $l_{м.з}$ (рис. 6.2, б).

Поперечний диференційний захист лінії має такі особливості:

- не захищає протилежної підстанції;
- має "мертву" зону;
- повинен виводитись з роботи після вимкнення однієї ланки лінії, тому що в такому разі може хибно спрацювати, коли струм у працюючій ланці буде більший за струм спрацювання захисту;
- не може визначати, на якій ланці лінії відбулось пошкодження, тому його застосовують тільки для захисту двох паралельних ланок лінії з одним спільним вимикачем.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Основна

1. Рубаненко, О. Є. Релейний захист та автоматика електричних станцій / Рубаненко О. Є., Рубаненко О. О., Гунько І. О. - Вінниця : ВНТУ, 2023. 125 с.
2. Основи релейного захисту та автоматизації енергосистем: навчальний посібник. Ч. 2 / укл.: Д.П. Козярський, Е.В. Майструк, І.П. Козярський. - Чернівці: Чернівецький нац. ун., 2019.- 133 с.
3. Релейний захист і автоматика: Навч. посібник / С. В. Панченко, В. С. Блиндюк, В. М. Баженов та ін.; за ред. В. М. Баженова. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – Ч. 1. – 250 с.
4. Релейний захист і автоматика: Навч. посібник / С. В. Панченко, В. С. Блиндюк, В. М. Баженов та ін.; за ред. В. М. Баженова. – Харків: УкрДУЗТ, 2021. – Ч. 2. – 276 с.
5. Релейний захист та кібербезпека енергетичних систем: Підручник / Є.І. Сокол, О.Г. Гриб, В.М. Баженов, В.П. Старенький, О.Ю. Заковоротний, М.М. Одегов та ін.– Харків: ФОП Панов А.М. 2019. – 390 с.

Додаткова

1. Сокол Є.І. Релейний захист електроенергетичних систем: підручник / Є.І.Сокол, Г.А.Сендерович, О.Г.Гриб та ін. - Харків: ФОП Бровін О.В., 2020.- 306 с.
2. Сокол Є.І. Проектування електроенергетичних і електромеханічних систем та пристроїв. Релейний захист: навчальний посібник / Є.І.Сокол, О.Г.Гриб, В.М.Баженов та ін. - Харків: ФОП Бровін О.В., 2020.- 128 с.
3. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Навчальний посібник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2013. – 500 с.
4. Мікропроцесорний релейний захист ліній електропередач: лаб.практикум / О. Є. Рубаненко, О. Ф. Гончарук, О. О. Рубаненко ; Вінниц.нац. техн. ун-т. - Вінниця : ВНТУ, 2017. - 110 с.

Кравченко Володимир Олексійович
Сіренко Юлія Володимирівна
Юрченко Олександр Юрійович

Релейний захист

Частина 1

Методичні вказівки до самостійної роботи

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул.Г.Кондратьєва,160

Підписано до друку: _____ 2025 р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman

Тираж: ____ примірників Замовлення _____ Ум. друк. арк. _____
