МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____В.П. Квасніков
"_____"_____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР

ЗА НАПРЯМОМ 6.050701 «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ»

Тема: «Комп'ютеризована система релейного захисту малопотужних мереж 6–10 КВ»

Виконавець: Лазарєв В.В.

Керівник: Орнатський Д.П.

Нормоконтролер: Катаєва М.О.

Київ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аерокосмічний факультет

Кафедра: комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій

Освітній ступень: «Магістр»

Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма: «Електротехнічні системи електроспоживання»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_______В.П. Квасніков

«_____»________ 2020р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Лазарєва Владислава Вікторовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Комп'ютеризована система релейного захисту малопотужних мереж 6–10 КВ»

затверджена наказом ректора від 12.10.20 р., №1982/ст

2. Термін виконання роботи: з 10.11.20 р. по 21.12.20 р.

3. Вихідні данні до роботи: захисні реле; малопотужна мережа 6-10 КВ.

4. Зміст пояснювальної записки: Вступ. Розділ 1. Загальні положення про реле. Розділ 2. Захист запобіжниками. Розділ 3. Захист автоматичними вимикачами. Розділ 4. Струмовий захист ліній електропередач в мережах з напругою 6 – 10 КВ. Розділ 5. Способи виконання, основні органи, розрахунок параметрів пристроїв автоматики. Розділ 6. Струмові направлені захисти. Розділ 7. Захист мереж від замикань на землю в мережах з ізольованою нейтраллю.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН—ГРАФІК

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Ознайомлення з завданням	10.11.20-15.11.20	Виконано
2	Постановка задачі	16.11.20-20.11.20	Виконано
3	Розділ 1. (Загальні положення про реле)	22.11.20-25.11.20	Виконано
4	Розділ 2. (Захист запобіжниками)	26.11.20-27.11.20	Виконано
5	Розділ 3.(Захист автоматичними вимикачами)	28.11.20-01.12.20	Виконано
6	Розділ 4. (Струмовий захист ліній електропередач в мережах з напругою 6 – 10 КВ)	02.12.20-05.12.20	Виконано
7	Розділ 5. (Способи виконання, основні органи, розрахунок параметрів пристроїв автоматики)	06.12.20-08.12.20	Виконано
8	Розділ 6. (Струмові направлені захисти)	09.12.20-10.12.20	Виконано
9	Розділ 7. (Захист мереж від замикань на землю в мережах з ізольованою нейтраллю)	11.12.20-12.12.20	Виконано
10	Розділ 8. (Охорона праці)	12.12.20-12.12.20	Виконано
11	Розділ 9. (Охорона навколишнього середовища)	12.12.20-12.12.20	Виконано
12	Оформлення вступу, реферату, висновків, переліку посилань	13.12.20-13.12.20	Виконано
13	Виконання ілюстративного матеріалу та написання доповіді	13.12.20-15.12.20	Виконано
14	Усунення недоліків та закінчення оформлення пояснювальної записки	15.12.20-18.12.20	Виконано

Консультація з окремих розділів

Назва розділу	Консультант		
Охорона навколишнього середовища	Гай Анжела Євгенівна		
Охорона праці			

Дата видачі завдання: 10. 11. 2020 р.

Керівник дипломної роботи _____Орнатський Дмитро Петрович

Завдання прийняв до виконання _____Лазарєв Владислав Вікторович

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи “Комп’ютеризована система релейного захисту малопотужних мереж 6–10 КВ” включає: сторінок – 82, рисунків – 29, використаних джерел – 14.

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, РОЗПОДІЛЬЧА УСТАНОВКА, ВИСОКА НАПРУГА, АВТОМАТИЧНИЙ ВИМИКАЧ, РОЗ’ЄДНУВАЧ, ПОТУЖНІСТЬ, КОНДЕНСАТОРНІ БАТАРЕЇ.

Об’єкт дослідження – захисні реле малопотужних реле.

Предмет дослідження – система релейного захисту малопотужних мереж.

Мета дипломної роботи – використання релейного захисту при КЗ.

Методи дослідження – релейний захист, теоретичні основи електротехніки, теорія автоматичного управління, фізика.

Комп’ютеризована система релейного захисту малопотужних мереж 6–10 КВ

Проведене дослідження по релейному захисту комп’ютеризованої системи малопотужної мережі 6 – 10 КВ. Виведені основні поняття про релейні захисти. Типи КЗ та способи їх усунення, а також використання релейного захисту при КЗ.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

А – пристрій релейного захисту, автоматики

АПВ – автоматичне повторне ввімкнення

РЗ – релейний захист

АРЗ – автоматичне регулювання збудження

АТ – автотрансформатор

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

АЧР – автоматичне частотне розвантаження

АВ – автоматичний вимикач

АВР - автоматичне включення резерву

ВН – висока напруга

ЗРП – закритий розподільчий пункт

КЗ – коротке замикання

КЛ – кабельна лінія

СВ – струмова відсічка

ССВ – струмова спрямована відсічка;

СШ – секція шин

КРУ – комплектна розподільча установка

НН – низька напруга

КЛ – кабельна лінія електропередач

ПЛ – повітряні лінії електропередач

АПВ – автоматичне повторне включення

АЧР – автоматична частотна розгрузка

АРЗ - автоматичне регулювання збудження

ЗМІСТ

ВСТУП……..…9
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРО РЕЛЕ ……...……12
1.1. Призначення релейного захисту ……12
1.2. Вимоги до виконання релейного захисту …….……..14
1.3. Призначення та основні характеристики реле……18
1.4. Принцип дії та особливості виконання реле……20
1.5. Вимоги до пристроїв релейного захисту …….25
РОЗДІЛ 2. ЗАХИСТ ЗАПОБІЖНИКАМИ ...……...…...28
2.1. Основні характеристики запобіжників ……..…….....28
2.2. Вибір запобіжників …….……...31
РОЗДІЛ 3. ЗАХИСТ АВТОМАТИЧНИМИ ВИМИКАЧАМИ ……...…….36
3.1. Основні характеристики автоматичних вимикачів ……36
3.2. Вибір автоматичних вимикачів ……..……..44
РОЗДІЛ 4. СТРУМОВИЙ ЗАХИСТ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ В МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ 6 – 10 КВ ……...……55
4.1. Триступеневий струмовий захист і його основні органи …...……...55
4.2. Характеристики струмових відсічок ……...56
4.3. Струмовий захист зі ступеневою характеристикою витримки часу ……56
4.4. Схеми струмових захистів ……58
4.5. Струмовий захист з залежною від рівня третього гармоніки струму витримки часу ……...58
РОЗДІЛ 5. СПОСОБИ ВИКОНАННЯ, ОСНОВНІ ОРГАНИ, РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПРИСТРОЇВ АВТОМАТИКИ……...61
5.1. Пристрої автоматичного введення резерву ……61
5.2. Пристрій АПВ ……64
5.3. Пристрій автоматичного частотного розвантаження ……66
РОЗДІЛ 6. СТРУМОВІ НАПРАВЛЕНІ ЗАХИСТИ ...……...68
6.1. Принцип дії і основні органи струмового направлення захисту ……..68
6.2. Вибір параметрів максимального струмового направлення захисту……69

6.3. Схеми вмикання реле напряму потужності ……71
6.4. Струмовий направлений захист із ступінчатою характеристикою витримки часу …….73
РОЗДІЛ 7. ЗАХИСТ МЕРЕЖ ВІД ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ В МЕРЕЖАХ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ ……75
7.1. Короткі відомості ……..75
7.2. Розподіл струмів при замиканні на землю …….75
7.3. Вимоги до захистів від замикань на землю ……77
7.4. Пристрій загальної неселективної сигналізації …….78
7.5. Струмові захисти нульової послідовності, які реагують на струми усталеного режиму ……...78

ВИСНОВКИ…...…….102
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…..……..103

ВСТУП

Об’єкт дослідження – захисні реле малопотужних реле.

Предмет дослідження – система релейного захисту малопотужних мереж.

Мета дипломної роботи – використання релейного захисту при КЗ.

Завдання – використання комп’ютеризованих систем релейного захисту малопотужних систем при КЗ.

Релейних захист безперервно контролює усі елементи електроенергетичної системи, містить захисні реле, та попереджує або автоматично відновлює несправності електричної мережі. При виникненні КЗ, РЗ виявляє збої та порушення та автоматично відключає пошкоджений елемент або проводить автоматичні операції для відновлення нормального стану, або попереджає звуковим сигналом працівників які повинні виправити неполадки.

При спрацюванні РЗ та відключення одного із елементів системи електропостачання, споживачі можуть залишатись у відключеному стані від джерела живлення. Щоб відновити живлення для споживачів необхідно провести деякі заходи.

Основні заходи для відновлення живлення:

- автоматичне повторне вмикання (АПВ);
- автоматичне вмикання резерву (АВР);
- автоматичне частотне розвантаження (АЧР);
- автоматичне обмеження потужності (АОП);
- автоматичне регулювання напруги (АРН).

Використання релейного захисту при КЗ запобігає розвитку аварії та зменшує розміри пошкоджень. При спрацюванні РЗ та вимкнення пошкодженого елемента, захист діє на сигнал. Пошкодження з заземленою нейтраллю та міжвиткові короткі замикання є самими небезпечнішими.

Особливі режими:

- Однофазні замикання на землю в мережах з ізольованою нейтраллю;
- Перевантаження обладнання струмами зовнішніх КЗ;

- Збільшення і зменшення напруги;

- Зменшення частоти;

- Режим коливання паралельного працюючих енергосистем ліній електромашин.

Після пошкодження однієї з ліній електропередач пристрій автоматичного включення резерву відновлює електропостачання. АПВ використовується на ПЛ та змішаних ПЛ і КЛ, який включає лінію електропередачі після самоліквідації пошкодження.

Пристрій АЧР служить для відновлення частоти шляхом вимкнення споживачів. Конденсаторні батареї виробляють зміну реактивної потужності яка застосовується для пристроїм АРС синхронних машин та РПН трансформаторів.

Апарат релейного захисту й автоматики складаються спільною схемою між собою та окремих функціональних елементів.

Кожен елемент отримує сигнали від попереднього елемента і передає наступному. Елементи поєднують в функціональні частини. Розрізняють логічну і передавальну частини.

Сучасними комутаційними апаратами у мережах 10 кВ є вакуумні вимикачі з блоками керування, що дає можливість використовувати будь-який елемент у якості вихідного реле та спрощує адаптацію пристроїв релейного захисту.

Найпростіші вимірювальні органи релейної дії, а саме: вимірювальні реле струму КА; реле напруги КУ; реле потужності К\У; реле опору К2.

Електричне реле - це апарат, який призначений проводити стрибкоподібні зміни в вихідному колі при заданих величинах (тобто коли реле спрацює).

Розрізняють максимальні і мінімальні вимірювальні реле, первинні і вторинні реле, прямої і непрямої дії. Первинні реле вмикаються безпосередньо в головне електричне коло (електромагнітний розчіплювач електромагнітного вимикача). Вторинні реле вимикаються через трансформатори струму або напруги (реле струму: РТ-40, РТ-80, РТ-90, РТВ, РТМ, реле напруги: РН-53, РН-54, РИВ. реле напряму потужності РБМ та інші). В реле прямої дії рухома система механічно пов’язана з вимикаючим пристроєм; до них відносяться РТВ, РТМ,

РИВ. Реле непрямої дії керує колом електромагнітного вимкнення вимикача через виконавчий елемент; до них відносяться РТ-40, Р'Г-80, РН-53, РН-54. РБМ тощо.

Сигнал на виході вимірювального реле з’являється, якщо вихідні сигнали задовольняють певні умови, тобто здійснюються порівнювання сигналів за фазою або за амплітудою.

Виконавча частина — це відносно потужні електромагнітні реле і контактори, які вмикають електромагніти вимкнення і ввімкнення приводів вимикачів, магнітні підсилювачі. Для цього використовуються проміжні реле. До виконавчої частини відносяться пристрої світлової і звукової сигналізації вимірні прилади.

У разі необхідності передавати сигнал на значні віддалі використовують передавальну частину пристрою РЗА , основним елементом якого є канал зв’язку.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРО РЕЛЕ

1.1. Призначення релейного захисту

Електроенергетична система містить складний комплекс електротехнічного обладнання, які розміщаються на певній території та об’єднані єдиним режимом генерування, споживання та транспортування електроенергії.

В електроенергетичній системі відбуваються постійні збурення які мають плановий характер: увімкнення та вимкнення генераторів, змінювання рівня генерування електричної енергії, режимні перемикання в електроенергетичній мережі тощо.

Істотний вплив на роботу та обладнання електроенергетичної системи можуть виникати пошкодження та небезпечні особливі режими. Одним з найнебезпечніших пошкоджень, які наявні в електроенергетичній системі, є короткі замикання (КЗ), що виникають внаслідок пошкодження ізоляції струмоведучих частин електричного обладнання.

Короткі замикання бувають:

- трифазні (симетричні);
- двофазні (несиметричні);
- двофазні на землю в системах з глухо заземленими нейтралями;
- однофазні несиметричні на землю заземленими нейтралями.

Короткі замикання можуть привести до:

– руйнування або виведення зі строю пошкодженого елемента струмами КЗ, або дугою, яка може виникати в місці пошкодження;

– можливого руйнування обладнання на суміжних з пошкодженим елементом об’єктах електроенергетичної системи внаслідок теплової та динамічної дії струмів, величина яких перевищує допустимі значення;

– пониження рівня напруги у вузлових точках електроенергетичної системи, що може привести до порушення технологічних процесів на підприємствах, а також до можливого порушення стійкості роботи електроенергетичної системи, яке, своєю чергою, призведе до повної втрати живлення споживачів електричною енергією.

Після виникнення КЗ в електроенергетичній системі потрібно швидко вимкнути пошкоджений елемент від джерела живлення.

Особливі режими які можуть виникати в електроенергетичній системі – перенавантаження електротехнічного обладнання, хитання напруги в системі, підвищення напруги вище номінального значення тощо.

Перенавантаження є один з режимів найпоширеніших особливих режимів. Під час перевантаження в елементах електроенергетичної мережі виникають струми, величина яких є більшою від їх номінальних значень, хоча не до такого рівня, як під час КЗ, таке перегрівання та старіння ізоляції може призвести до виникнення КЗ.

При виникненні особливих режимів КЗ необхідно вжити деякі заходи для усунення, при неможливості усунення, або у раз неуспішного діяння – потрібно вимкнути обладнання, яке працює в особливому режимі. Здійснювати вимикання обладнання від джерел зазвичай здійснюють з витримкою часу.

Пристрої релейного захисту вимикають пошкоджене обладнання, або яке працює в особливому режимі.

Релейних захист не допомагає запобіганню виникненню пошкодження, він працює тільки після виникнення КЗ, та його основна мета це зменшити руйнування пошкодженого елемента або зменшити масштаб руйнування електричних систем, а також обмежити розповсюдження пошкодження на елементи які знаходяться рядом, та частково або повністю ліквідувати можливу небезпеку для людей.

1.2. Вимоги до виконання релейного захисту

Вимоги до виконання релейного захисту регламентують відповідними державними нормативними документами, які відповідають міжнародним нормам.

Ділянки електроенергетичної системи охоплюють пристрої релейного захисту які називаються зонами дії захисту. Зоною дії захисту може бути генератор, трансформатор, лінія електропересилання тощо. Зона дії може охоплювати і кілька елементів електроенергетичної мережі, наприклад, лінія електропересилання – трансформатор. Релейний захист спрацьовує якщо виникає пошкодження в межах цієї зони та діє на вимкнення вимикачів через які здійснюються живлення місця пошкодження.

Під час проектування пристроїв релейного захисту необхідно забезпечити виконання таких умов:

– всі обладнання електроенергетичної системи повинні бути охоплені пристроями релейного захисту;

– зони дії пристроїв релейного захисту суміжних ділянок електроенергетичної системи повинні перекриватись;

– для підвищення надійності роботу окремих пристроїв релейного захисту потрібно дублювати, тобто кожну ділянку електроенергетичної системи повинні захищати хоча б два незалежні пристрої релейного захисту (100% резервування), для відповідальних ділянок можливе застосування і трьох незалежних пристроїв релейного захисту (200% резервування).

Зона дії захисту А1 (рис. 1.1) охоплює лінію електропересилання Л2 від шин підстанції А та початок лінії Л3, а зона дії захисту А2 охоплює цю саму лінію Л2 від шин підстанції Б та частину лінії Л1. Тому після виникнення КЗ К1 на лінії Л2 повинні працювати релейні захисти А1, А2 та діяти на вимкнення вимикачів Q1, Q2 – пошкоджена лінія Л2 буде відімкнена від джерел живлення.

На рис. 1.2 розташовуються зони А2 та А які неправильно запроектовані для захисту ліній А1 та захисту шин А2. Вимірні органи цих захистів приєднані до різних трансформаторів струму А1, А2. Так як точка К не розташована не в одній

з ліній А та А2, то при КЗ захист ліній не спрацює. Захист шин також не діє на це пошкодження.

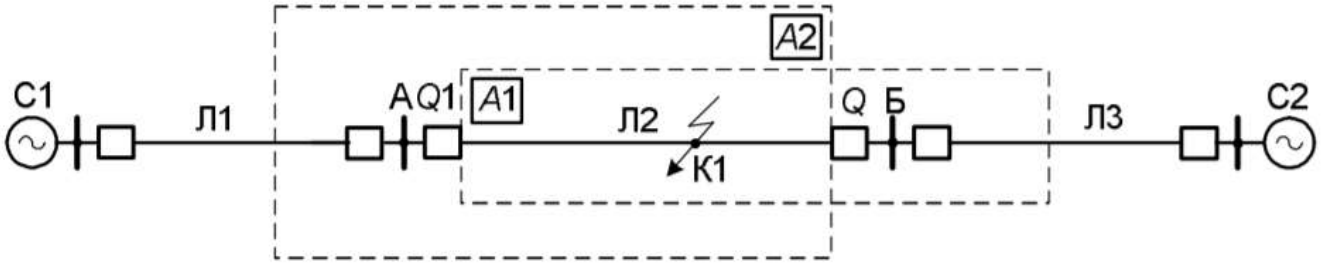

Рис. 1.1. Зони дії РЗ

Отже, за такого приєднання вимірних органів захистів ліній та шин між трансформаторами струму є ділянка, яка не попадає ні в зону дії захисту лінії А1, ні в зону дії захисту шин А2. Тому під час КЗ на цій ділянці в точці К1 ні один з цих захистів не працюватиме.

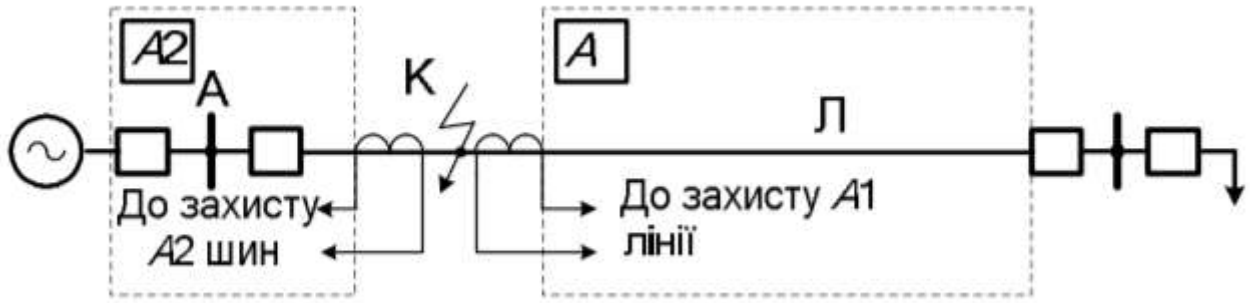

Рис. 1.2. Неправильно запроектовані захисти

На рис. 1.3 розташовуються правильно запроектовані зони які перетинають точку К. У цьому випадку точка КЗ К попадає в зону дії як захисту лінії А1, так і в зону дії захисту шин А2.

Схема, приведена на рис. 1.4, ілюструє, як здійснюється резервування роботи пристроїв релейного захисту.

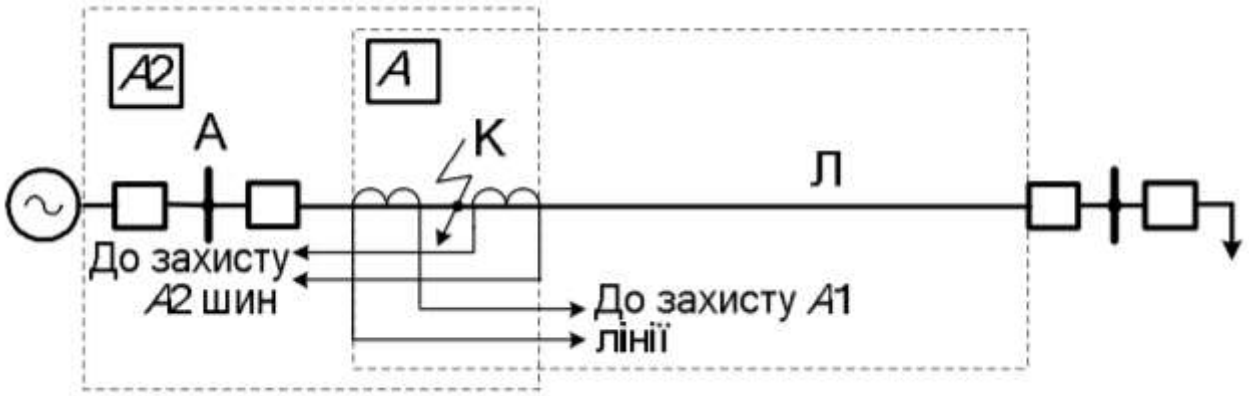

Рис. 1.3. Зони дії захистів перекриваються

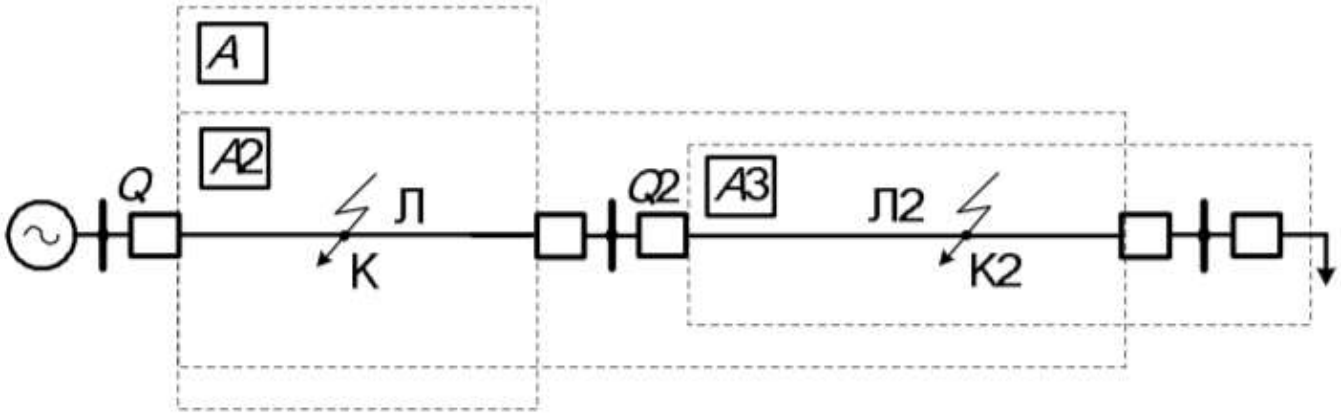

Рис. 1.4. Резервування роботи захистів

Функцію резервного захисту виконує А2 зона дії якого повністю охоплює лінію Л на якій встановлений основний захист – А. Зона дії резервного захисту А2 крім лінії Л1 охоплює суміжну лінію Л2. Резервний захист А2 діятиме на вимкнення вимикача Q тоді коли в точці К станеться КЗ та основний захист А відмовить. Про те, на відміну від захисту А1, це вимкнення буде здійснене з

більшою витримкою часу. У разі КЗ в точці К2 на суміжній лінії Л2 і відмові захисту цієї лінії А3, також спрацює захист А2, тому що його зона дії охоплює і лінію Л2. Захист А2 подіє на вимкнення вимикача Q1. У такому разі буде здійснене вимкнення пошкодженої лінії Л2 та непошкодженої лінії Л1. Таке вимкнення називають неселективним вимкненням. У першому випадку захист А2 виконував функцію ближнього резервування, в другому – дальнього резервування.

В основному для реалізації ближнього резервування використовують два захисти виконані за різних принципів роботи. Вони резервують один одного взаємно. Інколи встановлюють три комплекти захистів, які забезпечують ближнє резервування.

Для підвищення надійності потрібно резервні захисти вмикати через різні запобіжники або автоматичні вимикачі, а в групи трансформаторів вмикати напругові кола. Останню вимогу не завжди можна технічно реалізувати, тому що не на всіх підстанціях є по два або більше трансформатори напруги, під'єднані до одних і тих самих шин, або до однієї і тієї ж лінії.

Дальнє резервування має такі недоліки як неселективне вимкнення непошкоджених елементів, які можуть вимикатись разом с пошкодженими. Крім того, час роботи захистів, які реалізують дальнє резервування є значним і в деяких випадках повний час вимкнення пошкодження може становити до 10 с, що може бути недопустимим з погляду забезпечення стійкості роботи енергосистеми. Також не завжди можна забезпечити достатню чутливість захистів, які забезпечують дальнє резервування. Перевагою дальнього резервування є те, що не потрібно встановлювати додатковий захист, вони здійснюють окремі ступені захистів, які захищають суміжний елемент. Наприклад, захист А2 (рис. 1.4) захищає лінію Л1, а окремі його ступені можуть діяти під час КЗ на лінії Л2 (точка К2).

З вище наведеного можна зробити висновок, що застосування ближнього резервування має деякі переваги порівняно з дальнім резервуванням.

1.3. Призначення та основні характеристики реле

Реле є основний з елементів пристроїв релейного захисту, це пристрій у якого вихідних сигнал $y_{вих}$ змінюється стрибкоподібно, в залежності від зміни вхідної величини $y_{вх}$ (1 або 0) (рис. 1.5).

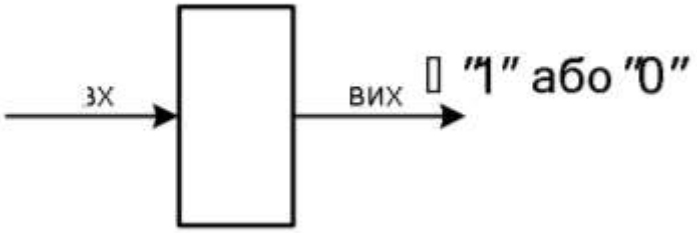

Рис. 1.5. Реле

Реле спрацює тоді коли стрибкоподібно змінився вихідний сигнал. Реле може бути в двох станах – вихідний сигнал $y_{вих} = 0$, та реле в спрацьованому стані $y_{вих} = 1$. Величина вхідного сигналу $y_{вх}$, за якого реле спрацьовує, називають уставкою спрацювання реле.

Реле буває мінімальної або максимальної дії. Реле максимальної дії спрацьовують за збільшення рівня вхідного сигналу до уставки спрацювання. Реле мінімальної дії спрацьовують за зменшення рівня вхідного сигналу до уставки спрацювання.

Розрівняють первинні та вторинні реле які залежать від способу увімкнення. Первинні реле вмикають безпосередньо в первинне (силове) електричне коло. Вторинні реле вмикають у первинне коло через первинні вимірювальні перетворювачі струму чи напруги. Трансформатори струму та трансформатори напруги зазвичай слугують первинними вимірювальними перетворювачами.

Бувають реле прямої дії та реле опосередкованої дії які залежать від дії на комутаційний апарат. Реле прямої дії діють безпосередньо на механізм вимкнення

комутаційного апарата. Реле опосередкованої дії діють на комутаційний апарат через проміжні елементи, наприклад, через електромагніти вимкнення вимикачів.

Гістерезисна характеристика є основною особливістю реле.

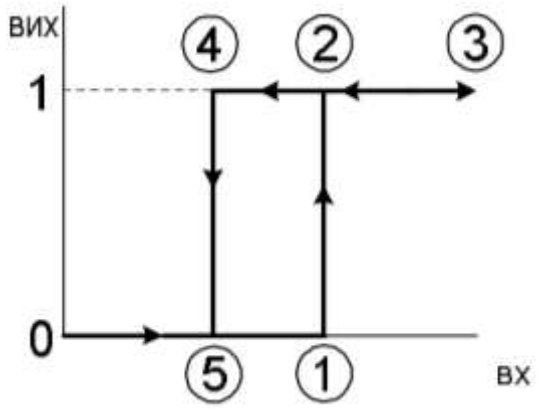

Рис. 1.6. Гістерезисна характеристика реле

Пояснимо сутність гістерезисної характеристики на прикладі реле максимальної дії. У разі збільшення вхідного сигналу $y_{вх}$ до величини, за якою реле спрацьовує, тобто до уставки реле – $y_{вх} = y_{с.р}$ (точка 1 на рис. 1.6) вихідна величина $y_{вих}$ зміниться стрибком (точки 1, 2). За подальшого збільшення вхідного сигналу $y_{вх}$ ніяких змін вихідної величини не відбувається (точки 2, 3). Після зменшення вхідного сигналу $y_{вх}$ до значення $y_{пов.р}$ (точка 5) реле повернеться у вихідний стан (точки 4, 5). Тобто повернення реле у вихідний стан здійснюватиметься за значенням вхідної величини $y_{вх} = y_{пов.р}$, яке є меншим від величини вхідного сигналу, за якого реле спрацьовує – $y_{пов.р} < y_{с.р}$.

Вираз гістерезисна характеристики реле визначають коефіцієнтом повернення реле $k_{пов}$.

$$Kпов. = \frac{Упов.}{Ус.р.} \quad (1.1)$$

Якщо $k_{пов.} < 1$ – це реле максимальної дії, а якщо $k_{пов} > 1$ – мінімальної дії.

1.4. Принцип дії та особливості виконання реле

Реле є один із основних елементів релейного захисту та автоматики. Зазвичай використовують електромеханічні реле. Електромеханічні реле виконані на цифровій основі в пристроях РЗА.

Принцип роботи електромеханічних реле оснований на взаємному перетворенні електричних та механічних величин.

Залежно від принципу роботи розрізняють такі електромеханічні реле:

– електромагнітні;

– індукційні;

– магнітоелектричні;

– електротеплові.

Електромагнітні реле реагують на зміну струму джерела струму. Зазвичай електромагнітні реле можуть застосовувати у струмових захистах.

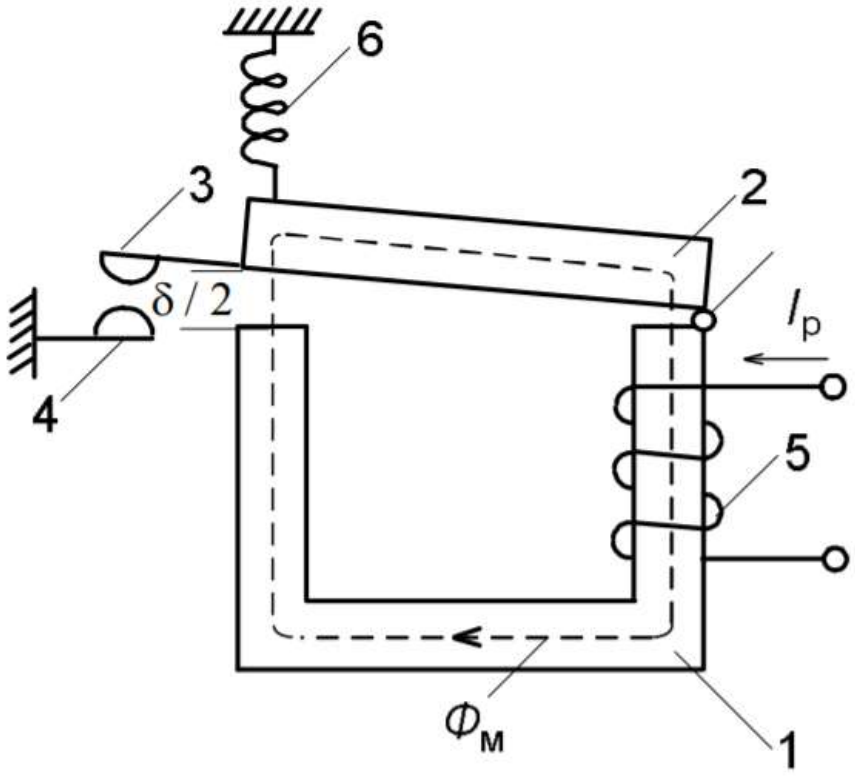

Рис. 1.7. Принцип роботи електромагнітного реле РТ-80

Індукційні реле – це найпоширеніші реле. Він поєднує електромагнітний принцип - реле з поворотним якорем. Індукційні реле складаються з електромагнітного та індукційного елементів. Електромагнітний елемент створює струмову відсічку без витримки часу, індукційний - максимальний струмовий захист з витримкою часу. Реле серії РТ-80 ґрунтується на електромагнітному та індукційному принципах. На рис. 1.7 зображений принцип роботи електромагнітного реле. Струм спрацювання електромагнітного реле можна регулювати за допомогою:

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

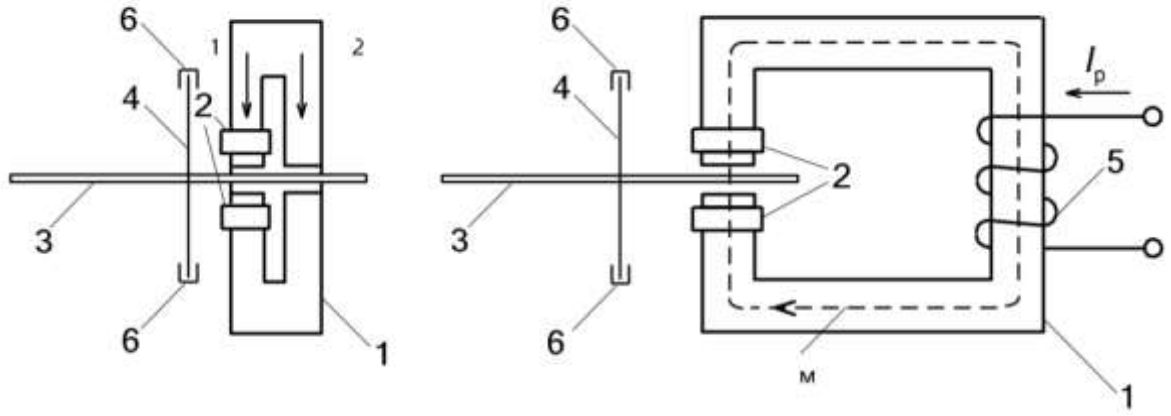

Рис. 1.8. Принцип дії індукційного елемента реле РТ-80

На рис. 1.8 зображено принцип дії індукційного елемента реле РТ-80. 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 (Ф1 та Ф2). 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 Ф – Ф м 2 , через решту магнітопроводу - інша частина потоку Ф – Ф м 1 .

Також застосовують реле опору в пристроях релейного захисту, які реагують на відношення комплексу напруги U_p , яку підводять до напругової обмотки реле до комплексу струму I_p , який підводять до струмової обмотки реле.

$$\underline{z}_p = \frac{\dot{U}_p}{\dot{I}_p}. \quad (1.2)$$

Принцип роботи реле опору виконано на принципі порівняння абсолютних значень двох випрямлених напруг робочого та гальмівного контурів.

Найчастіше КЗ в енергосистемі мають несиметричний характер. Симетричні складові струмів і напруг дуже часто використовують у вимірних та пускових органах пристроїв релейного захисту.

Бувають прямі, обернені та нульові алгоритми функціонування які побудовані на симетричних складових струмів та напруг.

Обчислення послідовностей через фазні величини трифазної системи векторів:

$$\dot{f}_{A0} = \frac{1}{3}\cdot\left(\dot{f}_A + \dot{f}_B + \dot{f}_C\right);$$
$$\dot{f}_{A1} = \frac{1}{3}\cdot\left(\dot{f}_A + a\cdot\dot{f}_B + a^2\cdot\dot{f}_C\right);$$
$$\dot{f}_{A2} = \frac{1}{3}\cdot\left(\dot{f}_A + a^2\cdot\dot{f}_B + a\cdot\dot{f}_C\right), \quad (1.3)$$

Фільтром напруги оберненої послідовності називають пристрій, у разі підведення до входу якого трифазної системи несиметричних напруг на виході отримують напругу, пропорційна до напруги оберненої послідовності.

$$\dot{U}_{ф} = \dot{m}_{ф} \cdot \dot{U}_{вх2}, \quad (1.4)$$

$U_ф$ – напруга на виході фільтра; $U_{вх2}$ – напруга оберненої послідовності, яка є у складі вхідної трифазної системи напруг; $m_ф$ – коефіцієнт пропорційності.

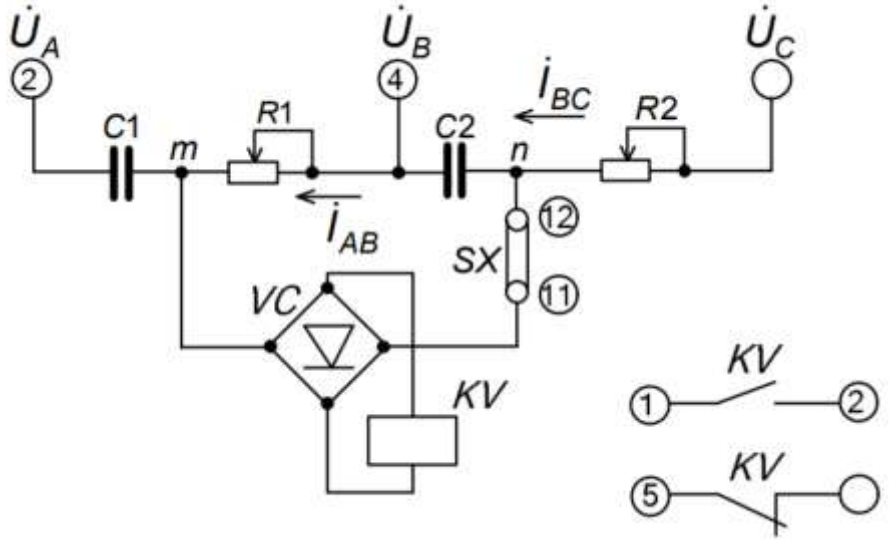

Рис. 1.9. Схема фільтр-реле напруги оберненої послідовності РНФ-1М

Фільтр-реле складається з фільтра оберненої послідовності, виконаного на основі RC елементів та виконавчого елемента – реле KV. До входу фільтра (затискачі 2, 4, 6) підводять трифазну систему напруг. До виходу фільтра (вузли m, n) під'єднано вхід випростувального моста VC, до виходів якого під'єднане електромагнітне реле напруги РН-50. Параметри фільтра підбирають так, що у разі подачі на його вхід симетричної системи напруг прямої послідовності, на виході фільтра напруга повинна бути близькою до нуля.

У разі подання на вхід фільтра несиметричної системи напруг, які можна подати сумою прямої, оберненої та нульової послідовностей, на вході фільтра буде напруга пропорційна тільки напрузі оберненій послідовності.

За останні роки в енергосистемах широко впроваджують пристрої релейного захисту, виконані за цифровими принципами. Цифрові пристрої мають деякі переваги щодо електромеханічними та напівпровідниками пристроями релейного захисту.

Головні з них:

- вища точність заданих характеристик функціонування пристрою;

- отримання характеристик будь-якої складності;

- запам’ятовування координат режиму під час спрацювання цифрового пристрою;

- можливість змінювати конфігурацію пристрою;

- універсальність;

- значно менші габарити та менші витрати електротехнічних матеріалів;

- використання друкованої плати, яка є набагато дешевша ніж виготовлення електромеханічних реле з застосуванням високоточних механічних технологій;

- можливість самодіагностики;

- менше потребує енергії для функціонування;

- простота в експлуатації.

У результаті експлуатації цифрових пристроїв РЗ у вітчизняних та закордонних енергосистемах виявились і їхні негативні особливості. До них передусім належать:

– зниження надійності функціювання пристроїв РЗ за рахунок зменшення часу напрацювання на відмову окремих модулів цифрових пристроїв та їхніх складових.

– значна концентрація захисних функцій та функцій управління на одному цифровому терміналі;

– ускладнення експлуатації пристроїв РЗ за наявності в енергосистемах цифрових пристроїв РЗ різних фірм, кожна з яких має свої конструктивні особливості, різні протоколи обміну інформації, різні алгоритми функціонування і, як наслідок, потребують різної інформації для функціонування;

– використовування в цифрових терміналах функцій, які не властиві РЗ, наприклад, моніторинг електрообладнання;

– використання в останніх модифікаціях цифрових пристроїв РЗ "вільнопрограмованої логіки", тобто зміна алгоритмів функціонування РЗ залежно від зміни режимів енергосистеми або зміни її конфігурації – "інтелектуальна логіка". Це може призвести взагалі до неправильної дії пристроїв РЗ;

– слабкий захист цифрових пристроїв РЗ від електромагнітних завад;

– можливість виведення з ладу хакерами цифрових пристроїв РЗ через загальні інформаційні мережі, які в енергетиці є слабко захищеними;

– відсутність єдиних національних стандартів щодо конструкцій цифрових пристроїв РЗ, їх програмного забезпечення, методики налагодження та умов експлуатації.

1.5. Вимоги до пристроїв релейного захисту

Основні вимоги до пристроїв релейного захисту:

- селективність
- чутливість
- швидкодія
- надійність

Селективність (вибірковість) – це здатність пристрою релейного захисту реагувати на пошкодження в межах того об’єкта електроенергетичної системи, для захисту якого він призначений, вони бувають відносні та абсолютні. Якщо захист реагує тільки на той елемент, для захисту якого його обрали, то захист має абсолютну селективність. Якщо захист реагую не тільки на елемент для захисту якого його обрали, але і реагує на елементи які знаходяться біля нього, то цей захист має відносну селективність.

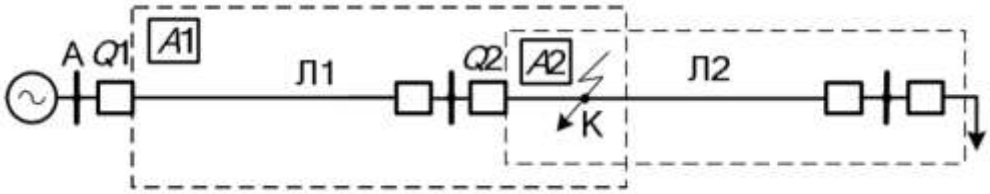

Рис. 1.10. Неселективна робота захисту

Захищений елемент електроенергетичної мережі повинен реагувати на всі пошкодження за усіх його можливих режимів роботи, і повинен бути чутливий як в максимальному режимі, так і в мінімальному режимі.

Чутливість захисту визначають коефіцієнтом чутливості. Зазвичай коефіцієнт який залежить від типу захисту визначають по різному.

Співвідношення визначається як відношення струму в реле під час КЗ до струму спрацювання вимірного органа.

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{р.к.з.мін}}}{I_{\text{с.р}}}. \qquad (1.5.)$$

Також головною вимогою до пристроїв реле є надійність.

Надійність - це здатність пристрою РЗ виконувати свої функції зі збереженням експлуатаційних характеристик у заданих межах протягом гарантованого виготовлювачем терміну служби. Надійність залежить від багатьох факторів.

Основними з яких є якісно виконаний монтаж та обслуговування пристроїв релейного захисту.

Пристрої РЗ не мають самодіагностики. Самодіагностика – це здатність пристрою РЗ періодично самостійно перевіряти основні свої характеристики і у разі виявлення недопустимих відхилень повідомляти про це оперативному персоналу, а сам пристрій РЗ виводять з роботи.

Ще один з головних вимог до пристроїв реле є швидкодія. Чим швидше вимкнеться пошкоджений елемент від джерел живлення, тим краще для роботи енергосистеми.

Час вимкнення знаходять за формулою часом спрацювання захисту та часом спрацювання вимикача,

$$t_{\text{вим}} = t_{\text{р.з}} + t_Q, .$$

де $t_{\text{р.з.}}$ – час роботи релейного захисту; t_Q – час спрацювання вимикача.

РОЗДІЛ 2

ЗАХИСТ ЗАПОБІЖНИКАМИ

2.1. Основні характеристики запобіжників

Запобіжник – це електротепловий пристрій, що використовують для захисту електрообладнання. Захист відбувається тоді, коли плавка вставка запобіжника перегорає під дією струму, або внаслідок розриву електричного кола.

Запобіжники використовують в електроустановках напругою до 1000 В, таких як міські та сільські електричні мережі, електричні станції, підстанції тощо. В мережах напругою 6, 10, 35, 110 кВ запобіжники вставляються меншою мірою.

Основі переваги запобіжників це є їх невелика вартість, простота виконання та зручність в експлуатації. Зазвичай, запобіжник може забезпечувати струмообмежувальні властивості, коли під час КЗ плавка вставка встигає перегоріти ще до максимального значення струму.

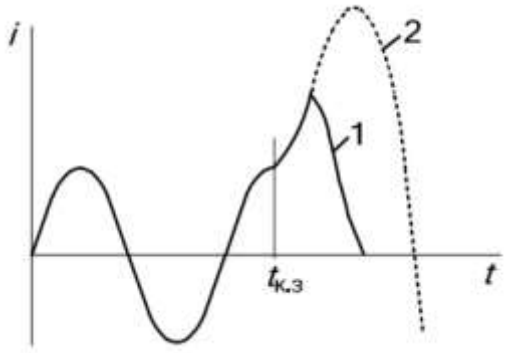

Рис. 2.1. Струмообмежувальний ефект запобіжника

На рис. 2.1 зображено графік струмообмежувального ефекта. Після виникнення КЗ струм у колі, де розташований запобіжник, почне різко

збільшуватись і по досягненні точки А плавка вставка запобіжника перегорить – струм замість зміни за кривою 2 змінюватиметься за кривою 1.

Але не зважаючи на це запобіжники мають свої недоліки:

- одноразовість дії. Тобто після кожного спрацювання потрібно вручну заміняти запобіжник.

- великий розкид захисних характеристик однойменних запобіжників – до 50%;

- зміна захисних характеристик запобіжників внаслідок їх старіння;

- виникнення неповно фазних режимів. Тобто це виникає тоді, коли запобіжники спрацьовують не у всіх трьох фазах;

- недостатня чутливість до струмів перевантажень.

Рис. 2.2. Умовне та позиційне позначення запобіжника

На рис. 2.2 зображено умовне та позиційне позначення запобіжника. Запобіжники поділяють на дві категорії залежно від способу гасіння дуги:

- запобіжники з наповнювачем. Ці запобіжники ще називають кварцовими так як наповнювач в основному у них це кварцовий пісок. З головних переваг у них є те, що вони не старіють і перебувають, у герметичному порцеляновому стані в оточенні сухого кварцового піску;

- запобіжники з трубками з газо генеруючого матеріалу. Зазвичай використовують вініпласт. У таких запобіжниках дуга гаситься під дією стиснених газів, або поздовжнього дуття, що виникає за рахунок газів, які виділяються з газо генеруючого матеріалу від дії високої температури плазми дуги.

За особливостями конструкції запобіжники бувають:

– N – стандартного дизайну;

– MM – з центральним індикатором;

– MI – з центральним індикатором та ізольованою тягою;

– I – з ізольованою тягою.

За типорозмірами запобіжники класифікують за розмірами:

– розмір 00 (2, 4, 6, 10, 20, 25, 32, 35, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160 А);

– розмір 0 (6, 10, 16, 20, 25, 32, 35, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160 А);

– розмір 1 (40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 224, 250 А);

– розмір 2 (40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 224, 250, 300, 315, 355, 400 А);

– розмір 3 (300, 315, 355, 400, 425, 500, 630 А);

– розмір 4 (400, 500, 630, 710, 800, 900, 1000, 1250, 1600 А).

Запобіжники характеризують такими номінальними параметрами:

– номінальна напруга запобіжника;

– номінальний струм запобіжника;

– номінальний струм плавкої вставки запобіжника;

– максимальний струм, який може вимкнути запобіжник;

– захисна характеристика запобіжника.

Номінальна напруга запобіжника $U_{зап.ном}$ – це напруга, за якої він може працювати протягом деякого часу в електроустановці. Довжина та конструкція плавкої вставки визначається за номінальною напругою. Реальне значення напруги мережі не повинно перевищувати номінальної напруги запобіжника не більше ніж на 10%. Запобіжники можуть працювати в мережі і з напругою, меншою від номінальної, але в цьому разі змінюються основні його характеристики.

Номінальний струм запобіжника – це максимальний струм, який може протікати через запобіжник протягом деякого часу, не спричиняючи перегрівання його елементів. Цей струм відповідає максимальному значенню струму плавкої вставки, яку можна встановити в цьому запобіжнику.

Максимальний струм, який може вимкнути запобіжник $I_{зап.макс.}$, – це максимальне значення періодичної складової струму, за яким запобіжник

розриває електричне коло внаслідок перегорання плавкої вставки, без будь яких пошкоджень його конструктивних елементів.

Номінальний струм плавкої вставки запобіжника – це є максимальний струм, який довготривало може протікати через плавку вставку запобіжника, не спричиняючи її перегорання. Він визначається допустимою температурою нагрівання плавкої вставки. Під час протікання струму навантаження через плавку вставку, остання нагрівається. Температура нагрівання збільшується до тих пір, поки теплота, яка виділяється плавкою вставкою, повністю не віддається навколишньому середовищу. Максимальна температура та, за якої плавка вставка не перегоряє і визначає номінальний струм плавкої вставки.

Окрім номінального струму використовується ще один, так званий випробувальний струм (або граничний струм). Це мінімальний струм, під час якого плавка вставка захисту перегорає за одну годину.

Захисна характеристика запобіжника – це залежність часу спрацювання запобіжника (перегорання його плавкої вставки) від величини струму, який протікає через запобіжник. Зазвичай захисні характеристики запобіжника з метою зменшення розмірів рисунка будують у логарифмічному масштабі.

2.2. Вибір запобіжників

Запобіжників вибирають так, щоб вони захищали лінії, трансформатори, двигун, а також щоб захищали від різного виду пошкоджень таких як КЗ або КЗ та перенавантаження. Вибирають сам запобіжник та його плавку вставку.

Дві умови вибору є спільними для всіх запобіжників. Це вибір номінальної напруги запобіжника та максимального струму КЗ, який він може вимкнути без само пошкодження.

Номінальна напруга запобіжника повинна відповідати напрузі мережі

$$U_{\text{зап.ном}} = U_{\text{мережі}}, \quad (2.1)$$

де $U_{зап.ном.}$ – номінальна напруга запобіжника; $U_{мережі}$ – напруга мережі, де встановлений запобіжник.

Основні характеристики запобіжників можуть змінюватись тоді, коли в запобіжників які працюють в мережі, напруга менше за номінальну напругу запобіжника.

Максимальний струм, який може вимикати запобіжник, повинен бути більшим від максимального струму під час КЗ в мережі

$$I_{зап.макс} \geq I_{к.з.макс}, \quad (2.2)$$

де $I_{зап.макс.}$ – максимальний струм, що може вимкнути запобіжник; $I_{к.з.макс.}$– максимальний струм КЗ, який може бути в мережі.

Розглянемо детальніше умови вибору плавкої вставки запобіжника для захисту лінії.

Коли лінію захищають лише від КЗ, то вибирають уставку плавкої вставки за умови забезпечення потрібної чутливості під час КЗ в кінці лінії, яка захищається

$$I_{вст.ном} \leq \frac{I_{к.з.мін}}{k_ч}, \quad (2.3)$$

де $I_{кз.мін.}$ – мінімальний струм під час КЗ в кінці лінії; $k_ч$ – коефіцієнт чутливості.

Значення коефіцієнта чутливості визначають режимом нейтралі мережі та умовами експлуатації лінії. У мережах з заземленою нейтраллю чутливість перевіряють під час однофазного КЗ в кінці лінії і $k_ч$ =3. У мережах з ізольованою нейтраллю чутливість перевіряють під час двофазного КЗ в кінці лінії і $k_ч$ =3. Якщо лінія експлуатується в вибухонебезпечному середовищі, то $k_ч$ =4.

Лінії електропередач потрібно захищати не тільки від КЗ, але і ще від перенавантажень. Згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) до таких мереж належать:

– всі мережі, виконані відкрито прокладеними незахищеними ізольованими провідниками з горючою ізоляцією в середині будь-яких приміщень;

– всі освітлювальні мережі в житлових приміщеннях, у громадських будинках, у торговельних приміщеннях, у службово-побутових приміщеннях промислових підприємств, у пожежонебезпечних промислових приміщеннях, всі мережі для живлення побутових та переносних електроприладів;

– всі силові мережі в промислових підприємствах, у житлових та громадських приміщеннях, якщо з умов технологічного процесу можуть виникати довготривалі перевантаження провідників та кабелів;

– мережі всіх видів, які експлуатують в вибухонебезпечних приміщеннях та у вибухонебезпечних зовнішніх установках.

Для захисту ліній від перевантажень номінальний струм плавкої вставки вибирають з таких умов:

– не спрацювання в робочому максимальному режимі

$$I_{\text{вст.ном}} \geq k_{\text{від}} \cdot I_{\text{роб.макс}}, \quad (2.3)$$

де: $k_{\text{від}}$ – коефіцієнт відведення, приймають 1,1–1,25; $I_{\text{роб.макс.}}$ – максимальний робочий струм, що протікає по лінії;

– не спрацювання під час короткочасного перевантаження, котре може виникати під час запуску або само запуску асинхронних двигунів з коротко замкнутим ротором, технологічними перевантаженнями механізмів тощо

$$I_{\text{вст.ном}} \geq \frac{I_{\text{пер}}}{k_{\text{пер}}}, \quad (2.4)$$

де $I_{пер.}$ – струм короткочасного перевантаження; $k_{пер.}$ – коефіцієнт перевантаження.

Струм короткочасного перевантаження $I_{пер.}$ визначають запуском або само запуском асинхронних двигунів з коротко замкнутим ротором, технологічними перевантаженнями механізмів тощо, які протікають короткочасно протягом 5–10 с. Із цього виводиться висновок що номінальний струм плавкої вставки можна вибрати меншим за струм короткочасного перенавантаження. Зменшення струму плавкої вставки визначають умовами запуску чи самозапуску, які своєю чергою визначають значенням коефіцієнта перевантаження $k_{пер.}$. З досвіду експлуатації для коефіцієнта перевантаження $k_{пер.}$ встановлюють такі значення:

$k_{пер.}$ = 1,6–2 – для умов легкого запуску, коли запуски двигунів трапляються рідко і кожен запуск триває протягом часу, меншого, ніж 10 с;

$k_{пер.}$ = 2,5 – для умов важкого пуску, для якого характерні часті запуски двигунів зі значним часом розгону двигунів, більшим, ніж 10 с.

У разі застосування плавкої вставки запобіжника з легкоплавкого матеріалу за важких запусків рекомендують приймати значення $k_{пер.}$ = 3,75.

Струм перевантаження пер I вибирають більшим з двох умов:

– умови запуску найпотужнішого двигуна і нормального режиму всіх решти споживачів

$$I_{пер} = I_{пуск.макс} + k_{с} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} I_{роб.макс}, \quad (2.5)$$

де $I_{пуск.макс.}$ – пусковий струм найпотужнішого двигуна; $\sum_{i=1}^{n-1} I_{роб.макс}$ – сума максимальних робочих струмів всіх споживачів за винятком двигуна з найбільшим струмом пуску; $k_с$ – коефіцієнт попиту, $k_с < 1$;

– умови само запуску двигунів

$$I_{\text{пер}} = \sum_{i=1}^{m} I_{\text{пуск}}, \quad (2.6)$$

де: $\sum_{i=1}^{m} I_{\text{пуск}}$ – сума струмів m двигунів, які беруть участь у режимі самозапуску.

РОЗДІЛ 3

ЗАХИСТ АВТОМАТИЧНИМИ ВИМИКАЧАМИ

3.1. Основні характеристики автоматичних вимикачів

Автоматичний вимикач – це комутаційний апарат, який використовується для захисту від обладнання від струмів КЗ, та призначений для здійснення оперативних перемикань.

Основні переваги автоматичних вимикачів:

– за нормального режиму та виникнення пошкоджень вимикаються всіх три фази, тобто відсутня можливість створення неповно фазних режимів;

– це є апарати багаторазової дії, що дає змогу на їх основі формувати схеми автоматики, зокрема АВР, АПВ;

– характеристики струмових розчіплювачів виконані з більшою точністю, ніж характеристики плавких вставок запобіжників.

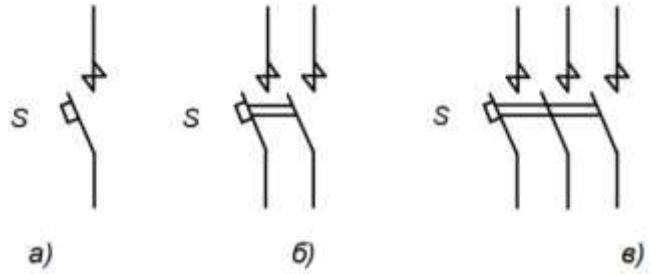

Рис. 3.1. Умовне та позиційне позначення автоматичних вимикачів

На рис. 3.1 зображено умовне та позиційне позначення автоматичних вимикачів. Автоматичні вимикачі можуть бути в однофазному, двофазному та трифазному виконанні на змінний та постійний струм.

На рис. 3.1 наведене умовне та графічне позначення однофазного а), двофазного б) та трифазного в) автоматичних вимикачів.

Автоматичний вимикач не тільки може комутувати струми навантаження як вимикач навантаження, але й також розривати струми КЗ. Для цього в ньому передбачена дугогасильна камера. Для здійснення автоматичного розриву електричного кола під час КЗ або під час перевантажень, автоматичний вимикач має спеціальний механізм автоматичного вимкнення - механізм розчеплення (розчіплювач). Розчіплювачі бувають електромагнітні, теплові, напівпровідникові. В автоматичних вимикачах можна застосовувати комбіновані розчіплювачі, наприклад, теплові та електромагнітні. Розчіплювач – це по суті реле прямої дії, яке діє на вимкнення автоматичного вимикача через механізм вільного розчеплення. Механізм вільного розчеплення являє собою сукупність важелів, пружин, защіпок тощо.

Залежно від типу розчіплювачів автоматичні вимикачі поділяють на:

– вимикачі з розчіплювачами максимального струму, що спрацьовують у разі збільшення струму від величини струму уставки;

– вимикачі з незалежними розчіплювачами, що спрацьовують незалежно від струму, зазвичай, керуються дистанційно. Розчіплювачі таких автоматичних вимикачів надійно спрацьовують за напруги ном (0,7 1,2) – ·U , час спрацювання таких вимикачів – порядку 0,04 с;

– вимикачі з нульовими або мінімальними розчіплювачами напруги, що спрацьовують за зникнення або пониження напруги. Розчіплювачі нульової дії вимикають вимикачі за пониження напруги менше ніж ном (0,1 0,35) – ·U , мінімальної дії – за пониження напруги менше ніж ном (0,35 0,7) ÷ ·U .

Контактна система автоматичних вимикачів може бути:

– триступеневою, з головним, допоміжним та дугогасильним контактами;

– двоступеневою, з головним та дугогасильним контактами;

– одноступеневою, з головним контактом.

Дугогасильну камеру автоматичних вимикачів можна виконати з вузькими щілинами або у вигляді решітки.

На рис. 3.2 наведені схеми, які ілюструють принцип роботи електромагнітного (рис 3.2, а) та електротеплового (рис. 3.2, б) розчіплювачів автоматичних вимикачів.

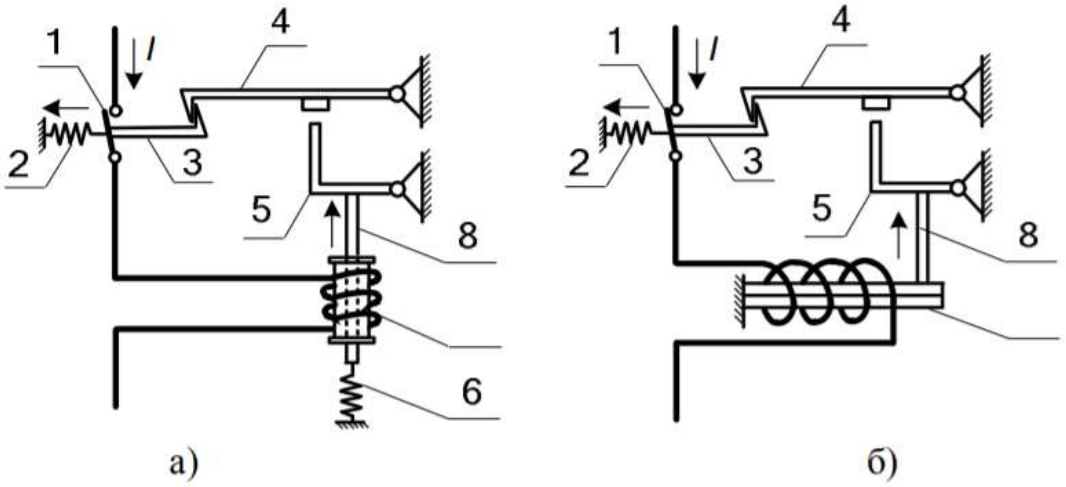

Рис. 3.2. Принцип роботи розчіплювачів автоматичних вимикачів

На рис. 3.2 а) наведено електромагнітний розчіплювач основним елементом якого є електромагніти 7, які встановлені в кожній фазі. Котушку електромагніту обтікає струм I , осердя електромагніту 8 утримує пружина 6. Якщо струм перевищує деяке значення, електромагнітна сила перевищує силу натягу пружини 6, осердя починає рухатись у напрямку, показаному стрілкою, діє на важіль 5, який вибиває защіпку 4. Звільнений важіль 3 під дією пружини 2 переміщається та розмикає силові контакти 1, що розривають коло протікання струму (після загасання електричної дуги між контактами). Весь цей процес триває 0,015–0,06 с.

На рис. 3.2 б) наведено автоматичний вимикач основним елементом якого є дів біметалеві пластини 7.

Розчіплювач автоматичного вимикача, виконаний за схемою, показаною на рис. 3.2, б, – електротепловий розчіплювач. Вони розміщені в котушці, яку обтікає струм I . Під дією струму біметалеві пластини нагріваються та змінюють свою геометрію. Під час нагрівання правий кінець пластин піднімається догори, тисне у напрямку, показаному стрілкою, на важіль 5, що вибиває защіпку 4.

Звільнений важіль 3 під дією пружини 2 переміщається ліворуч (за стрілкою) та розмикає силові контакти 1, що розривають коло протікання струму. Після вистигання біметалеві пластини повертаються у вихідний стан – автоматичний вимикач готовий для повторного увімкнення.

Захисна характеристика розчіплювача складається з декількох ступенів. Бувають одноступеневі, двоступеневі або триступеневі струмові захисти. Ступенями захисту можуть бути струмова відсічка, струмова відсічка з витримкою часу, максимальний струмовий захист. Струмову відсічку та струмову відсічку з витримкою часу виконують з незалежною витримкою часу. За такої характеристики час спрацювання захисту не залежить від величини струму. Максимальний струмовий захист реалізують з залежною витримкою часу – тоді час спрацювання розчіплювача залежить від величини струму.

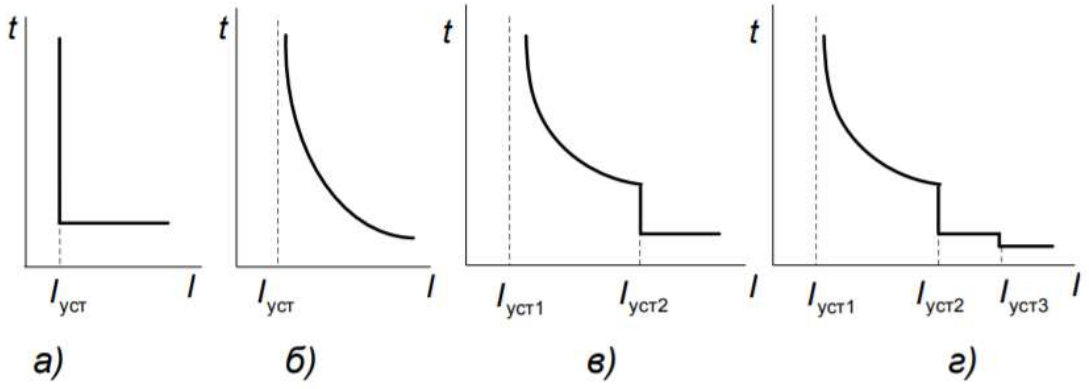

Рис. 3.3. Захисні характеристики розчіплювачів автоматичних вимикачів

На рис. 3.3 наведені характеристики розчіплювачів автоматичних вимикачів. Залежно від типу розчіплювачів, автоматичний вимикач може виконувати функції струмової відсічки (струмової відсічки з витримкою часу) (рис. 3.3, а), струмового захисту з залежною характеристикою (рис. 3.3, б), захисту з комбінованою двоступеневою характеристикою (рис. 3.3, в) та захисту з комбінованою триступеневою характеристикою (рис. 3.3, г).

Завдяки електромагнітного або напівпровідникового розчіплювача можна отримати незалежну характеристику, на основі якої виконують струмову відсічку та струмову відсічку з витримкою часу. Залежну характеристику, на основі якої виконують максимальний струмовий захист, можна отримати за допомогою електротеплового або напівпровідникового розчіплювача.

В час використання в роботі напівпровідникових розчіплювачів можна змінювати їх характеристики. Характеристики електротеплових розчіплювачів під час експлуатації є нерегульованими. Не регулюється також під час експлуатації електромагнітний розчіплювач, на основі якого реалізується струмова відсічка.

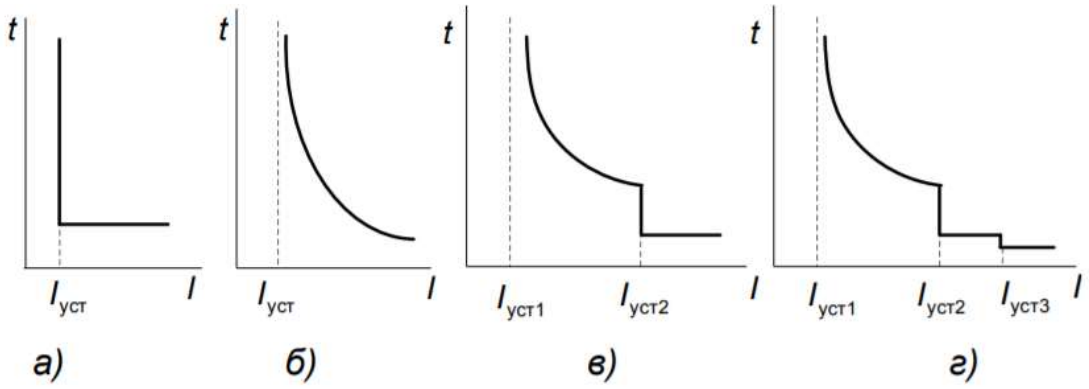

Рис. 3.3. Захисні характеристики розчіплювачів автоматичних вимикачів

Під час КЗ розчіплювач автоматичним вимикачів, як і запобіжників, забезпечують такі струмообмежувальні властивості, такі як, встигає спрацювати ще до досягнення струмом свого максимального значення. Але вона не є основною для розчіплювачів, як у запобіжників.

Залежно від величини струму автоматичні вимикачі можна умовно розділити на три групи:

– модульні автоматичні вимикачі, для струмів до 125 А;

– автоматичні вимикачі середньої потужності, на струми в діапазоні 80/630 А;

– потужні автоматичні вимикачі, на струми від 800 до 6300 А.

Останнім часом виготовлення автоматичних вимикачів регламентовано нормами МЕК 947.2. Це дозволило виготовляти автоматичні вимикачі модульного типу з встановленням їх на рейці DIN.

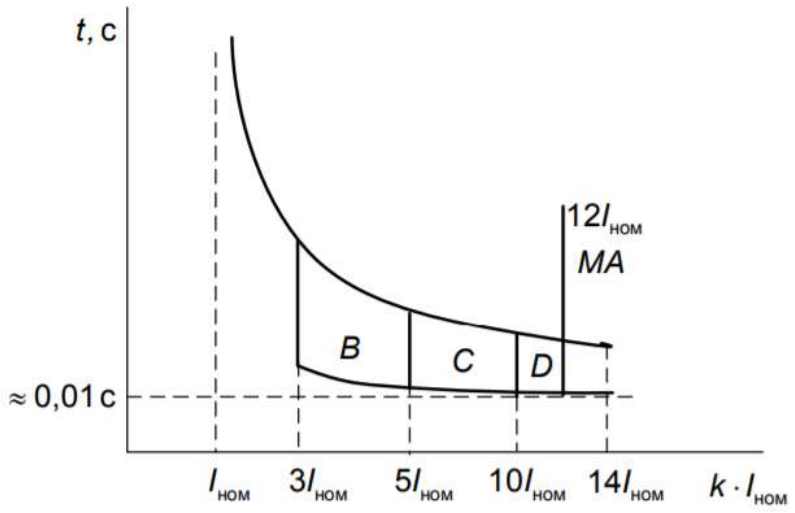

Рис. 3.4. Захисні характеристики модульних автоматичних вимикачів

Захисні характеристики модульних вимикачів, залежно від налаштувань цих елементів, показані на рис. 3.4.

Вимикачі модульного типу виготовляються на струмах від 0,5 А до 63 А з шириною корпусу 18 мм (два модулі на 9 мм) і на одному полюсі - на струмі від 80 А, а на струмах до 125 А - з ширина корпусу 27 мм. Це автоматичні вимикачі низької потужності. Модульні вимикачі відповідають нормам IEC 898, IEC 947.2, ГОСТ Р 50345-99, ГОСТ 50030.2-99, ГОСТ 3025-95. Вони виробляють один, два, три або чотири полюси. Випуск модульного вимикача здійснюється на основі теплового елемента, реалізованого за допомогою біметалевої пластини, і на основі електромагніту. Отже, захисна характеристика випуску такого вимикача складається з двох частин - залежної, яка утворює тепловий елемент, і незалежної, яка утворює електромагнітний елемент.

Модульні автоматичні вимикачі для струмів до 125 А, залежно від струму відключення, мають характеристики типу B, C, D і MA. Випуски вимикачів типу B, C, D мають комбіновані захисні характеристики - залежні та незалежні. Незалежна характеристика вимикачів типу B здійснюється на кратності струму відключення (3/5) ном., Незалежна характеристика вимикачів типу C - на кратності струму відключення (5/10) ном. . ном. Вимикачі типу MA виготовляються лише з незалежними характеристиками для струму 12 номіналів.

Вимикачі типу B використовуються для навантажень з мінімальними пусковими струмами, таких як навантаження з електронними пристроями. Вимикачі типу C використовуються в мережах загального призначення, таких як освітлення, або для захисту навантажень від короткочасних перевантажень. Вимикачі типу D використовуються в ланцюгах живлення потужних асинхронних двигунів з рідкісними комутаціями.

При використанні вимикачів середньої потужності можна змінювати характеристики випусків цих вимикачів. Вимикачі середньої потужності мають електромагнітні та напівпровідникові випромінювання. На рис. 3.5 показані типові характеристики автоматичних вимикачів автоматичних вимикачів середньої потужності. Різні типи характеристик випусків можна використовувати для захисту від перевантажень із залежною затримкою часу - характеристики 1, захист від коротких замикань із затримкою часу - 3; захист від короткого замикання з малою затримкою - 4; миттєве відсікання - 5; регульований відсік для спеціального випуску - 6,7. На рис. Стрілки 3,5 показують області характеристик, які можна регулювати.

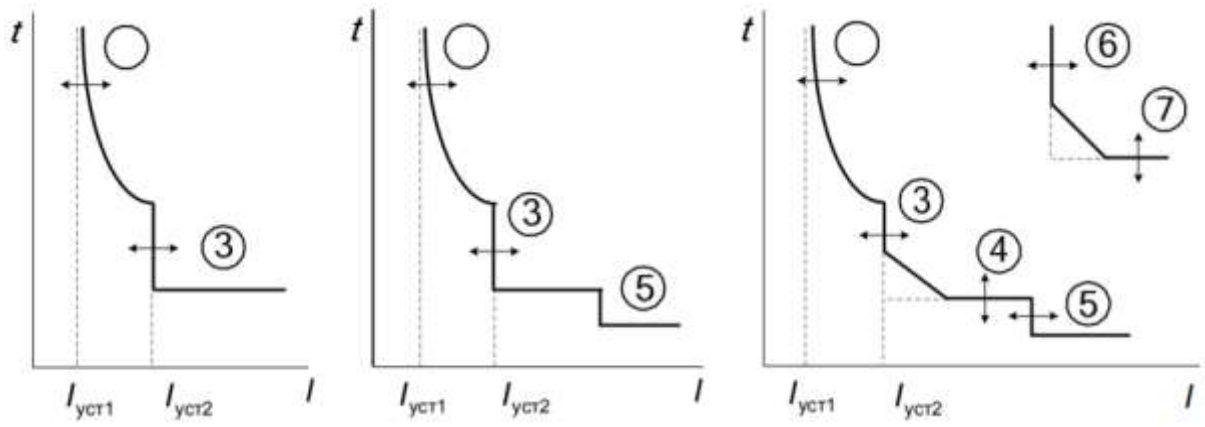

Рис. 3.5. Захисні характеристики автоматичних вимикачів середньої потужності

Потужні автоматичні вимикачі виготовляються на струми від 600 А до 6300 А. Це вимикачі триполюсного або чотириполюсного виконання в стаціонарному або висувному виконанні. На них застосовують електромагнітні, напівпровідникові та електротеплові розчіплювачі. На сучасних вимикачах цієї класифікації можливе застосування розчіплювачів, виконаних на основі цифрових пристроїв.

Електричні характеристики за нормами та позначеннями згідно з МЕК 947.2 для автоматичних вимикачів:

– номінальний струм: 880, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3200, 4000, 5000, 6300 А;

– номінальна напруга 1000 В;

– номінальна імпульсна напруга 8000 В;

– повний струм вимкнення (діюче значення) 55, 75, 100, 150 кА;

– допустимий наскрізний струм упродовж 0,5 с – 55, 75, 170 кА;

– допустимий струм увімкнення на к.з. (ударний) 121, 165, 220, 286 кА;

– електродинамічна стійкість 121, 165, 187 кА;

– час вимкнення 25 – 30 мс;

– час увімкнення до 50 мс;

– кількість циклів 5000 – 15000.

3.2. Вибір автоматичних вимикачів

Основними характеристиками автоматичних вимикачів є номінальна напруга $U_{авт.ном.}$, номінальний струм $I_{авт.ном}$, максимальний струм вимкнення $I_{авт.ном}$.

Номінальна напруга $U_{авт.ном}$ автоматичного вимикача – це така напруга, що відповідає напрузі мережі, де встановлений вимикач.

Номінальний струм $I_{авт.ном}$ автоматичного вимикача – це такий максимальний струм, за якого вимикач може працювати без пошкоджень та без зміни експлуатаційних характеристик упродовж часу, гарантованого виготовлювачем.

Максимальний струм вимкнення $I_{авт.макс.}$ – це такий максимальний струм, який виникає, зазвичай, під час КЗ, і який може вимикати вимикач без виникнення в ньому будь-яких пошкоджень.

Розчіплювач автоматичного вимикача характеризують номінальним струмом розчіплювача $I_{рч.ном}$, струмом $I_{уст}$ та часом $t_{уст}$ спрацювання кожного ступеня.

Номінальним струмом розчіплювача $I_{рч.ном}$ називають максимальний струм, довготривале протікання якого не призводить до його спрацювання.

Струм та час спрацювання кожного ступеня – це мінімальний струм, за якого розчіплювач спрацює після досягнення заданого часу $t_{уст}$.

Умови вибору автоматичного вимикача та його розчіплювача визначають типом об’єкта, що вони повинні захищати – лінія, трансформатор, двигун, а також видом пошкодження – тільки від КЗ чи від КЗ та перевантаження тощо.

Автоматичний вимикач вибирають за напругою мережі, струмом КЗ та максимальним робочим струмом елемента, що він повинен захищати.

Номінальна напруга автоматичного вимикача повинна відповідати напрузі мережі

$$U_{\text{авт.ном}} = U_{\text{мережі}}, \quad (3.1)$$

де $U_{\text{авт.ном}}$ – номінальна напруга автоматичного вимикача; $U_{\text{мережі}}$ – напруга мережі, де встановлений автоматичний вимикач. Максимальний струм, що може вимикати автоматичний вимикач, повинен бути більшим за максимальний струм під час КЗ в мережі

$$I_{\text{авт.макс}} \geq I_{\text{к.з.макс}}, \quad (3.2)$$

де $I_{\text{авт.макс}}$ – максимальний струм, що може вимкнути автоматичний вимикач; $I_{\text{к.з.макс}}$ – максимальний струм КЗ, що може бути у мережі. Номінальний струм розчіплювача $I_{\text{рч.ном}}$ вибирають більшим за максимальний довготривалий робочий струм об'єкта $I_{\text{роб.макс}}$, що захищається:

$$I_{\text{рч.ном}} \geq I_{\text{роб.макс}} \quad (3.3)$$

Номінальний струм розчіплювача вибирають за стандартною шкалою номінальних струмів цього типу (серії) розчіплювача, як найближче більше значення за максимальний робочий струм роб.макс I .

Розглянемо умови вибору розчіплювачів автоматичних вимикачів для захисту ліній електропересилання. Особливості розрахунку уставок спрацювання розчіплювачів автоматичних вимикачів для захисту інших об'єктів електричної мережі буде наведено у відповідних розділах.

Розглянемо вибір захистів автоматичними вимикачами, що найчастіше трапляються в енергосистемах – це автоматичні вимикачі серії ВА, серії А3700 та серії "Електрон".

Для захисту лінії Л1 (рис. 3.6) застосуємо триступеневий струмовий захист, виконаний розчіплювачем автоматичного вимикача SF1.

І-й ступінь – струмова відсічка без витримки часу.

ІІ-й ступінь – струмова відсічка з витримкою часу.

ІІІ-й ступінь – максимальний струмовий захист.

Нижче у виразах для параметра спрацювання (струму, опору тощо) в залежно від зони (часу) спрацювання захисту позначено індексом:

- І – захист без витримки часу (струмова відсічка без витримки часу, перший ступінь дистанційного захисту тощо);

- ІІ - захист з витримкою часу другого ступеня (струмова відсічка з витримкою часу, другий ступінь дистанційного захисту тощо);

- ІІІ, ІV, V – захисти з витримкою часу (МСЗ та дистанційний захист з витримкою часу тощо – відповідно третього, четвертого та п’ятого ступенів).

Особливістю розрахунку триступеневого захисту розчіплювачами автоматичних вимикачів є зв’язок струму спрацювання кожного з ступенів з номінальним струмом розчіплювача рч.ном I . Це істотно ускладнює розрахунок та вибір уставок окремих ступенів розчіплювачів автоматичних вимикачів.

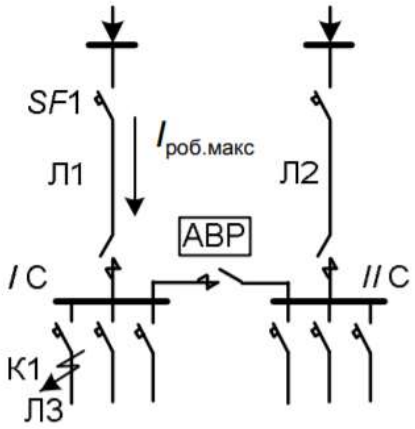

Рис. 3.6. Захист лінії розчіплювачами автоматичних вимикачів

І-й ступінь

Струм спрацювання цього ступеня необхідно відвести від максимального трифазного струму зовнішнього КЗ. За максимального режиму – це струм КЗ. у точці К1 на суміжному елементі - на початку лінії Л3, яка відходить від шин протилежної підстанції. Виконання цієї умови дасть змогу селективно працювати

захисту лінії Л1 – не спрацьовувати хибно під час КЗ на суміжному елементі (під час КЗ на лінії Л3 повинен працювати захист суміжного елемента SF2). Розраховують уставку спрацювання І-го ступеня за виразом

$$I^{1}_{\text{уст}} = k_{\text{від}} \cdot I^{(3)}_{\text{к.з.макс.К1}}, \quad (3.4)$$

де $k_{від}$ – коефіцієнт налаштування, що враховує вплив аперіодичної складової, неточність розрахунку, відповідний запас тощо; $I^{(3)}_{к.з.макс.К1}$ – струм у місці встановлення захисту SF1 під час трифазного КЗ в точці К1 за максимального режиму.

На практиці часто вираз (3.4) не вдається реалізувати, тому що в більшості серійних вимикачів, що мають триступеневий струмовий захист, струм спрацювання І - го ступеня не регулюється. Так, для вимикачів серії А3790С струм спрацювання струмової відсічки (І-й ступінь) становить 20 кА; для автоматичних вимикачів серії ВА55 та ВА75 значення цього струму залежить від номінального струму розчіплювача і тому його величина перебуває в межах 20 – 45 кА; для вимикачів серії "Електрон" струм спрацювання І-го ступеня залежить від струму спрацювання ІІ-го ступеня $I^{1}_{\text{уст}} = (2{,}2 \div 3) \cdot I^{II}_{\text{уст}}$. Тому в цих випадках розрахунок уставки спрацювання І-го ступеня зводиться просто до порівняння вже визначеного значення струмової відсічки $I_{уст}$ зі струмом трифазного КЗ в розрахунковій точці К1 (3) К1 $I_{к.з.макс.}$.

Якщо $I_{к.з.макс.К1} > I_{уст}$, тобто І-й ступінь працюватиме неселективно, а така робота в конкретному випадку є недопустимою, тому необхідно вибрати інший автоматичний вимикач, або виконати І-й ступінь струмовими реле, на яких можна виставити уставку, розраховану за (3.4).

ІІ-й ступінь

Це струмова відсічка з витримкою часу. Параметрами цього ступеня є струм спрацювання $I_{уст}$ та час спрацювання $t_{уст}$. Цей ступінь повинен селективно працювати під час КЗ на суміжному елементі та не спрацьовувати під час

короткочасних перевантажень. Для селективної роботи II-го ступеня необхідно її узгодити з I-м ступенем захисту суміжного елемента. Узгоджують II-й ступінь захисту SF1 з захистом суміжного елемента SF2 за виразом:

$$I_{\text{уст}}^{\text{II}} \geq k_{\text{від}}^{\text{II}} \cdot I_{\text{уст.}SF2}^{\text{I}};$$
$$t_{\text{уст}}^{\text{II}} \geq t_{\text{уст.}SF2}^{\text{I}} + \Delta t, \quad (3.5)$$

де $k_{\text{від}}$ – коефіцієнт відведення, $k_{\text{від}}$ = 1,3/1,5 ; Δt – ступінь селективності за часом, значення якої залежить від типу автоматичного вимикача. Для автоматичних вимикачів серії A3790C Δ =t 0,15 с ; для вимикачів серії BA55, BA75 Δ = t 0,1с ; для вимикачів серії "Електрон" Δt = 0,2/0,25 с ; $t_{\text{уст. 2 SF}}$ – час спрацювання I-го ступеня автоматичного вимикача, з яким узгоджують, у цьому випадку це автоматичний вимикач SF2. Для того, щоб забезпечити не спрацювання автоматичного вимикача під час короткочасних перевантажень необхідно, щоб виконувалась умова

$$I_{\text{уст}}^{\text{II}} = k_{\text{від}}^{\text{II}} \cdot I_{\text{пер}}, \quad (3.6)$$

де $k_{\text{від}}$ – коефіцієнт відведення, значення якого залежить від типу автоматичного вимикача: для вимикачів серії BA55, BA75 та A3790C значення коефіцієнта відведення приймають $k_{\text{від}}$ =1,5 , для вимикачів серії "Електрон" це значення приймають $k_{\text{від}}$ =1, 6 ; $I_{\text{пер}}$ – струм короткочасного перевантаження. Для схеми мережі (рис. 3.6) для визначення струму короткочасного перевантаження необхідно враховувати короткочасне перевантаження після спрацювання пристрою АВР. Тому вираз для визначення струму перевантаження становить

$$I_{\text{пер}} = k'' \cdot I_{\text{роб.макс.1}} + k_{\text{сам.зап}} \cdot I_{\text{роб.макс.2}}, \quad (3.7)$$

де k” – коефіцієнт, що враховує збільшення струму від двигунів секції шин ІСШ внаслідок пониження напруги на цій секції після увімкнення до неї пристроєм АВР навантаження секції ІІСШ. Залежно від частки асинхронного навантаження секції значення k” = 1 - 1,5 ; $k_{сам.зап}$ – коефіцієнт, що враховує само запуск асинхронних двигунів секції ІІСШ, величину якого визначають розрахунком. Значення цього коефіцієнта перебуває в межах $k_{сам.зап}$ = 2 - 3; $I_{роб.макс.1}$,$I_{роб.макс.2}$ – максимальні значення струмів навантаження секцій ІСШ та ІІСШ. Струм спрацювання ІІ-го ступеня $I_{уст}$ вибирають більшим за значення, отримані за виразами (3.5) та (3.6).

ІІІ-й ступінь

Зазвичай, у розчіплювачів уставка струму спрацювання ІІІ-го ступеня не налаштовується. Її значення пов’язане з номінальним струмом розчіплювача $I_{рч.ном}$. Тому розрахунок струму спрацювання ІІІ-го ступеня зводять до розрахунку номінального струму розчіплювача $I_{рч.ном}$.

Струм спрацювання ІІІ-го ступеня вибирають з умови відведення від робочого максимального струму лінії

$$I_{уст}^{III} = \frac{k_{від}^{III}}{k_{пов}} \cdot I_{роб.макс}, \quad (3.8)$$

де $k_{від.}$ – коефіцієнт відведення, величину якого визначають похибкою розчіплювача і значення його залежить від типу автоматичного вимикача; $k_{пов}$ – коефіцієнт повернення розчіплювача, значення якого залежить від типу автоматичного вимикача; для вимикачів серії А3700, ВА $k_{пов}$ = 0,97 – 0,98; для вимикачів серії "Електрон" $k_{пов}$ = 0,75; для теплових розчіплювачів $k_{пов}$ = 1; $I_{роб.макс}$ – максимальний робочий струм лінії.

Оскільки струм спрацювання ІІІ-го ступеня розчіплювача не регулюють, величина його пропорційна номінальному струмові розчіплювача $I_{рч.ном}$. Тому

струм спрацювання ІІІ-го ступеня (номінальний струм розчіплювача) визначають як

$$I_{\text{уст}}^{\text{III}} = k^{\text{III}} \cdot I_{\text{рч.ном}} \quad (3.9)$$

Враховуючи (3,8) та (3.9), отримуємо вираз для розрахунку номінального струму розчіплювача

$$I_{\text{рч.ном}} = \frac{k_{\text{від}}^{\text{III}}}{k^{\text{III}} \cdot k_{\text{пов}}} \cdot I_{\text{роб.макс}} \quad (3.10)$$

Знаючи тип автоматичного вимикача та підставивши відповідні значення коефіцієнтів у вираз (3.10), отримаємо співвідношення номінального струму спрацювання розчіплювача, який виконує функції ІІІ-го ступеня, з максимальним робочим струмом лінії:

– для автоматичних вимикачів серії А3700 та ВА $I_{\text{рч.ном}} = 1{,}1 * I_{\text{роб.макс}}$;

– для автоматичних вимикачів серії "Електрон" $I_{\text{рч.ном}} = 1{,}6 * I_{\text{роб.макс}}$;

– для теплових розчіплювачів $I_{\text{рч.ном}} = I_{\text{роб.макс}}$.

Час спрацювання ІІІ-го ступеня для напівпровідникових розчіплювачів виставляють відповідно до струму $I = 6 * I_{\text{рч.ном}}$. Для всіх типів автоматичних вимикачів можна виставити час спрацювання ІІІ-го ступеня 4, 8, або 16 с.

На основі часових характеристик розчіплювачів автоматичних вимикачів під час чотирикратного перевантаження ($I_{\text{пер}} = I_{\text{роб.макс}} * 4$) можна визначити час спрацювання розчіплювачів автоматичних вимикачів. Для вимикачів серії А3700 цей час перебуває в межах $t_{\text{с.з}} = 15 - 60$ с , для напівпровідникових розчіплювачів вимикачів серії ВА – $t_{\text{с.з}} = 10 - 40$ с , для розчіплювачів автоматичних вимикачів серії "Електрон" – $t_{\text{с.з}} = 100 - 120$ с , для теплових розчіплювачів вимикачів серії А3100 – $t_{\text{с.з}} = 10$с ; для теплових розчіплювачів вимикачів серії ВА – $t_{\text{с.з}} = 25$ с.

Розчіплювачі автоматичних вимикачів з уставками спрацювання І-го, ІІ-го та ІІІ-го ступенів, розрахованими за (3.4)–(3.10) повинні відповідати вимогам чутливості та селективності.

Чутливість розчіплювачів автоматичних вимикачів перевіряють за кратністю відносно струмів КЗ.

Вимоги чутливості розрізняють для мереж, що захищаються тільки від струмів КЗ, та для мереж, що захищаються як від струмів КЗ, так і від струмів перевантажень.

Для мереж, що захищаються тільки від струмів КЗ потрібно задовольняти такі вимоги:

– співвідношення мінімального струму КЗ в найвіддаленішій точці зони захисту до номінального струму розчіплювача повинно бути

$$\frac{I_{\text{к.з.мін}}}{I_{\text{рч.ном}}} \geq 3 \quad (3.11)$$

– для автоматичних вимикачів, що мають тільки розчіплювачі миттєвого спрацювання, повинна виконуватись умова

$$\frac{I_{\text{к.з.мін}}}{I^{1}_{\text{уст}}} \geq 1,4; \quad (3.12)$$

– для автоматичних вимикачів з номінальним струмом авт.ном I ≤100 А

$$\frac{I_{\text{к.з.мін}}}{I^{1}_{\text{уст}}} \geq 1,25 \quad (3.13)$$

Можна не перевіряти чутливість розчіплювачів автоматичних вимикачів за таких випадків:

– вимикач має тільки розчіплювач миттєвої дії та виконується умова $I_{уст} \le I_{довг.доп} * 4,5$, де $I_{довг.доп}$ – довготривалий допустимий струм лінії;

– розчіплювач має залежну характеристику, яка може налаштовуватись та виконується умова: $I_{уст} \le I_{довг.доп} * 1,25$;

– розчіплювач має залежну характеристику, яка не може налаштовуватись та виконується умова: $I_{рц.ном} \le I_{довг.доп}$. Для мереж, що захищають як від струмів КЗ, так і від струмів перевантажень, повинні виконуватись такі вимоги:

– для автоматичних вимикачів, що мають лише розчіплювач миттєвої дії

$$I_{уст}^{I} \le k_{ізол.пр} \cdot I_{довг.доп}, \quad (3.14)$$

де $k_{ізол.пр}$ – коефіцієнт, величина якого залежить від типу ізоляції провідників, перебуває в межах: $k_{ізол.пр}$ = 0,8 - 1, $I_{довг.доп}$ – довготривалий допустимий струм лінії;

– для автоматичних вимикачів з неналаштованими розчіплювачами, незалежно від типу ізоляції провідників лінії, повинна виконуватись умова

$$I_{рч.ном} \le I_{довг.доп} \quad (3.15)$$

Селективність

Для забезпечення селективної роботи захисні характеристики розчіплювачів двох послідовних автоматичних вимикачів, наприклад, SF1 та SF2 (рис. 3.6) не повинні перетинатись для всього діапазону можливих струмів коротких замикань (рис. 3.7). Якщо після розрахунку уставок спрацювання розчіплювачів за виразами (3.4)– (3.10) їхня селективність не забезпечується, захисну характеристику розчіплювача, що розташований ближче до джерела живлення (SF1), необхідно підняти вище, тобто змінити уставки спрацювання. Але потрібно пам’ятати, що тоді час спрацювання цього розчіплювача збільшиться.

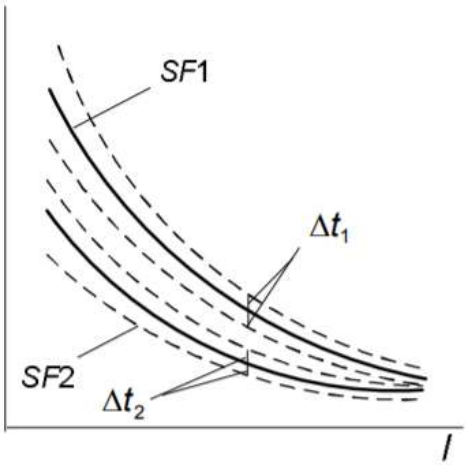

Рис. 3.7. Селективність розчіплювачів автоматичних вимикачів

Для забезпечення селективності характеристики розчіплювачів послідовних вимикачів не тільки не повинні перетинатись, але і знаходитись на допустимо мінімально можливій відстані одна до одної. Ця відстань визначається їх допустимими похибками. Середню відносну похибку дії за часом розчіплювачів приймають 20%. За такої похибки для будь-якого можливого значення струму к.з. чи перевантаження селективність забезпечується. У мережах до 1000 В доволі часто для захисту об'єктів мережі застосовують як запобіжники, так і розчіплювачі автоматичних вимикачів. Коли ближче до джерела живлення розташований автоматичний вимикач і селективність не забезпечується (захисні характеристики запобіжника та розчіплювача перетинаються), селективність можна досягти підняттям захисної характеристики автоматичного вимикача. Коли ближче до джерела живлення розташований запобіжник, вимоги для забезпечення селективності визначають з умови, що похибка запобіжників за часом становить $\Delta t = t_{вст.ном} * 0{,}25$, де $t_{вст.ном}$ – час спрацювання плавкої вставки запобіжника. У такому разі селективність запобіжника та автоматичного вимикача забезпечується за виконання умови $(1\text{-}0{,}25)*t_{вст.ном} \geq (1+0{,}25)*t_{устSF}$, або коли співвідношення уставок спрацювання запобіжника та розчіплювача становить $t_{вст.ном} \geq 1{,}7 * t_{устSF}$.

РОЗДІЛ 4

СТРУМОВИЙ ЗАХИСТ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ В МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ 6-10 КВ

4.1. Триступеневий струмовий захист і його основі органи

Ток - це захист, для якого поточним значенням є ток, протекуючий в точці його включення. Трехступенчатая токова захист відносно виборця. Він може виконувати як короткочасне бронювання (резервна базова захист, яка захищає весь елемент), так і довгострокове резервування (може працювати, коли попередній елемент пошкоджений, якщо його власна захист вийшов із строю). Быстродействующая первая ступень, також називається відсечка по току без видержки часу, має виключно вимірний елемент. Второй и третий - токовые выключатели с выдержкой времени и максимальной токовой защитой, имеющие два корпуса - измерительный и выдерживающий. Другий етап виконується з незалежністю від цієї видержки, а третій рівень може мати залежність та незалежну характеристику видержки.

Ізмірювальний корпус реле тока реагує на пошкодження або порушення нормального режиму роботи та активізує телезахист другого та третього ступеней, а також виконавчий орган першого ступінь. Для збільшення чутливості використовуйте комбінований корпус, що складається з реле максимального току та реле мінімального напруження. Устройство задержки часу представляє собою окреме реле часу або одно реле тока, що об'єднує обидва пристрої захисту. Вспомогательные реле: промежуточное реле облегчает роботу контактів основних органів захисту та вводить деякі заміни, запобігаючи срабатыванию відключень по току без видержки часу при срабатывании трубчатых разрядников; указуюче реле дозволяє контролювати зрабатування захисту.

4.2. Характеристики струмових відсічок

Переваги відключення по струму без витримки часу:

1. Вибірковість дії в мережах складної конфігурації з будь-якою кількістю джерел живлення (забезпечується вибором робочого струму).

2. Оперативне відключення найсильніших коротких замикань біля шин станцій і підстанцій.

3. Простота схеми.

Недоліки:

1. Захист тільки частини лінії.

2. Залежність зони захисту від режиму роботи системи і перехідного опору в місці короткого замикання.

Тому перший ступінь використовується для скорочення часу простою при найбільш серйозних пошкодженнях. Відключення по току з витримкою часу має відносно малий час спрацьовування і виконує короткий і довгий резервування, вибірково в мережах з двостороннім живленням. Але його чутливості недостатньо, так як вона залежить від режиму роботи мережі. Відключення по струму з витримкою часу і без витримки часу поширені в розподільних мережах з одним джерелом живлення напругою до 35 кВ, іноді при 110 кВ, коли захист виконується без витримки часу.

4.3. Струмовий захист зі ступеневою характеристикою витримки часу

Захист зі ступеневою характеристикою витримки часу - це поєднання струмових відсічок і МСЗ, що забезпечує надійний захист усієї лінії. Такий захист може бути дво- і триступеневим. У двоступеневому - перший ступінь - це струмова відсічка без витримки часу, а друга - МСЗ. В триступеневому - перший ступінь без витримки часу, другий ступінь - відсічка з витримкою часу, третій ступінь - МСЗ.

$$I_{с.з.2}^{I} = K_{від} * I_{к1max}^{(3)},$$
$$I_{с.з.3}^{I} = K_{від} * I_{к2max}^{(3)}, \ (t=0{,}1\text{сек}) \quad (4.1)$$

Розглянемо радіальну схему з одностороннім живленням (4.1). Захист А1 обладнаний струмовою відсічкою без витримки часу і з витримкою часу. Захисти А2, А3 виконані триступеневими.

Параметри спрацювання другого ступеня:

$$I_{с.з.2}^{II} = K_{від} * I_{с.з1}^{I}$$
$$I_{с.з.3}^{II} = K_{від} * I_{с.з2}^{I},$$
$$t_2^{II} = t_3^{II} = t_1^{I} + \Delta t = t_2^{I} + \Delta t \approx 0{,}5 \ldots 0{,}6 \text{ с} \quad (4.2)$$

Струм спрацювання третього ступеня вибирається як і для МСЗ. Витримка часу усієї ступені визначається за ступеневим принципом :

$$t_3^{III} = t_2^{III} + \Delta t \quad (4.3)$$

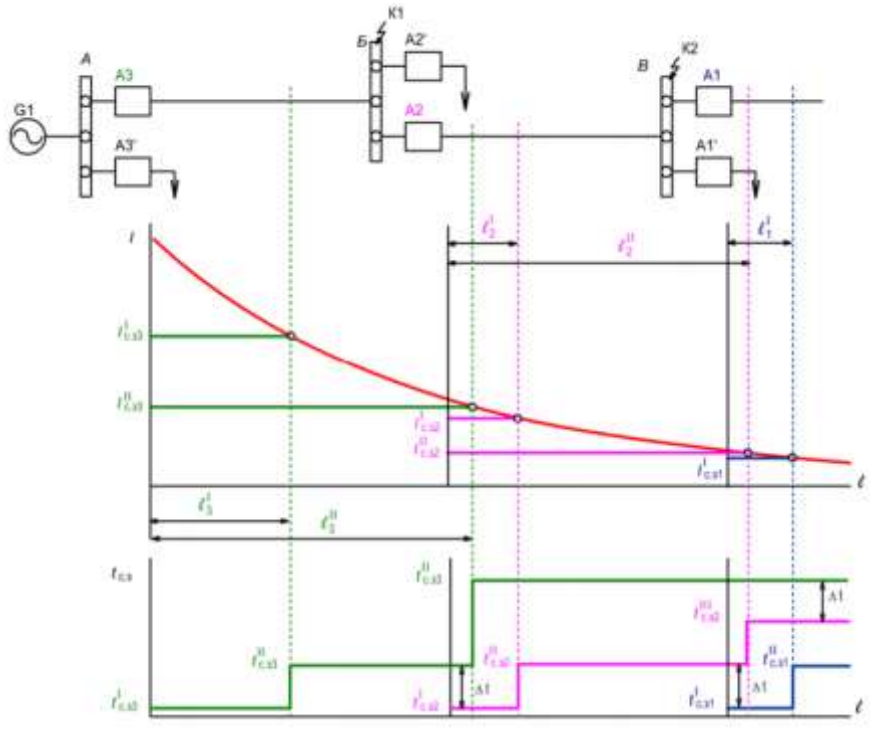

Рис. 4.1. Радіальна схема з одностороннім живленням

При КЗ на початку лінії діє першій ступінь, в кінці лінії - другий ступінь, третій ступінь є резервним захистом при пошкодженнях на попередніх ділянках. Таким чином, струмовий захист зі степеневою характеристикою витримки часу є селективним і відносно швидкодіючим захистом.

4.4. Схеми струмових захистів

Вимірна частина здійснюється за допомогою з'єднання ТС і вторинних вимірювальних органів. Вимірна частина усіх ступенів однакова, тому якщо захист має кілька ступенів, то їх вимірні органи з'єднуються послідовно. За наявності окремого органу витримки часу логічні частини другого і третього ступеня однакові. Тоді одна і та ж схема захисту може використовуватися для виконання струмової відсічки з витримкою часу або МСЗ. МСЗ і струмова відсічка без витримки часу мають однакові схеми, якщо вони виконані на вторинних реле прямої дії типу РТВ і РТМ. В системах електропостачання 6-10кВ часто використовують комбіноване реле РТ-80 і РТ-90, які дозволяють виконати струмові захисти двоступеневими.

4.5. Струмовий захист з залежною від рівня третього гармоніки струму витримки часу

Недоліки струмових відсічок особливо проявляються на лініях, виконаних сталеалюмінієвими стальними проводами малого перерізу з розташованими на цій лінії трансформаторами.

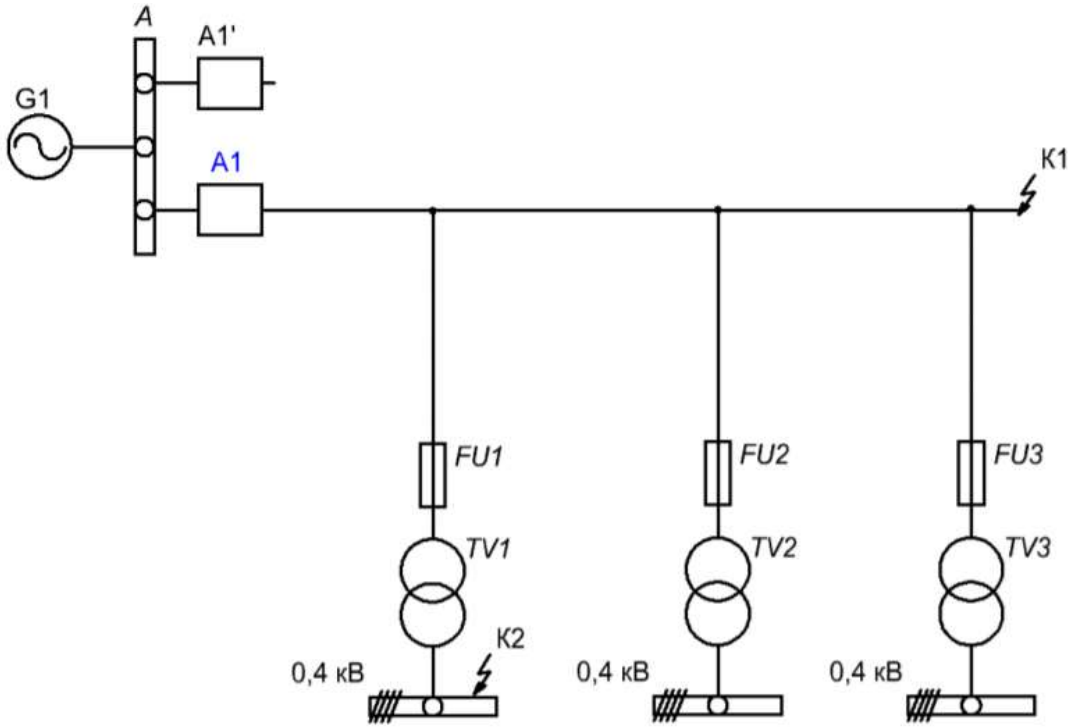

Рис. 4.2. Лінія трансформатора

Пошкодження в кінці лінії, що захищається (точка К1), і КЗ за трансформатором (точка К2) супроводжуються протіканням через захист А спів мірних струмів. Тому важко отримати селективність і чутливість за необхідної швидкодії. Для виконання цих умов необхідно, щоб виконувалося одночасно дві умови:

$$I_{с.з} \le \frac{I^{(3)}_{к1min}}{K_U}; \quad I_{с.з.} \ge K_{від} * I_{к2max}{}^{(3)} \tag{4.4}$$

Для цього необхідно, щоб відношення:

$$\frac{I^{(3)}_{к1min}}{I^{(3)}_{к2max}} \ge 2 \tag{4.5}$$

Якщо це відношення менше 2, то селективність вимкнення пошкодження за трансформатором можна отримати витримкою часу, що призводить до збільшення об'ємів рівноваги в місці пошкодження зменшення успішності АПВ і збільшення збитків від недовипуску електричної енергії. Тому в таких випадках використовуються захист з додатковою ознакою для визначення місця пошкодження за вищими гармоніками. Їх основним джерелом є трансформатори мережі. При КЗ, особливо двофазному, на початку лінії (точка 3, рис.4.2.) трансформатори збуджуються несиметричною напругою і третя гармоніка струму х.х. досягає величини:

$$I_{3x}^{(2)}=(0,2...0,25)\sum I_{т.ном.} \quad (4.6)$$

Найінтенсивнішим джерелом вищих гармонік є дуга на стороні 0,4 кВ трансформатора, тоді через захист протікає струм :

$$I_{з.д.}^{(2)}=(5...10)I_{3x}^{(2)} \quad (4.7)$$

Таким чином величина третьої гармоніки струму в початковий момент пошкодження дозволяє відрізнити КЗ на лінії від пошкодження на трансформаторі. Перша ступінь виконується струмовою відсічкою без витримки часу, яка захищає головну ділянку в лінії. Струмовий захист з фільтром третьої гармоніки виконується як МСЗ з витримкою часу або без витримки часу. Щоб цей захист не працював при КЗ на лінії, що захищається, струм спрацювання приймається більшим ніж струм I_{3x}^{2}. При пошкодженні між запобіжником і трансформатором захист діє як і при КЗ на лінії без витримки часу. Селективність забезпечується сумісною дією захисту пристрою АПВ. Після АПВ захист спрацьовує з витримкою часу.

РОЗДІЛ 5

СПОСОБИ ВИКОНАННЯ, ОСНОВНІ ОРГАНИ, РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПРИСТРОЇВ АВТОМАТИКИ

5.1. Пристрій автоматичного ведення резерву (АВР)

У системі електропостачання з двома і більше джерелами живлення доцільно працювати за розімкненою схемою. Це зменшує струм КЗ, спрощує релейний захист, зменшує втрати електричної енергії, але і зменшує надійність електропостачання. Відновити електропостачання споживачів, що втратили живлення, можна за допомогою пристрою АВР.

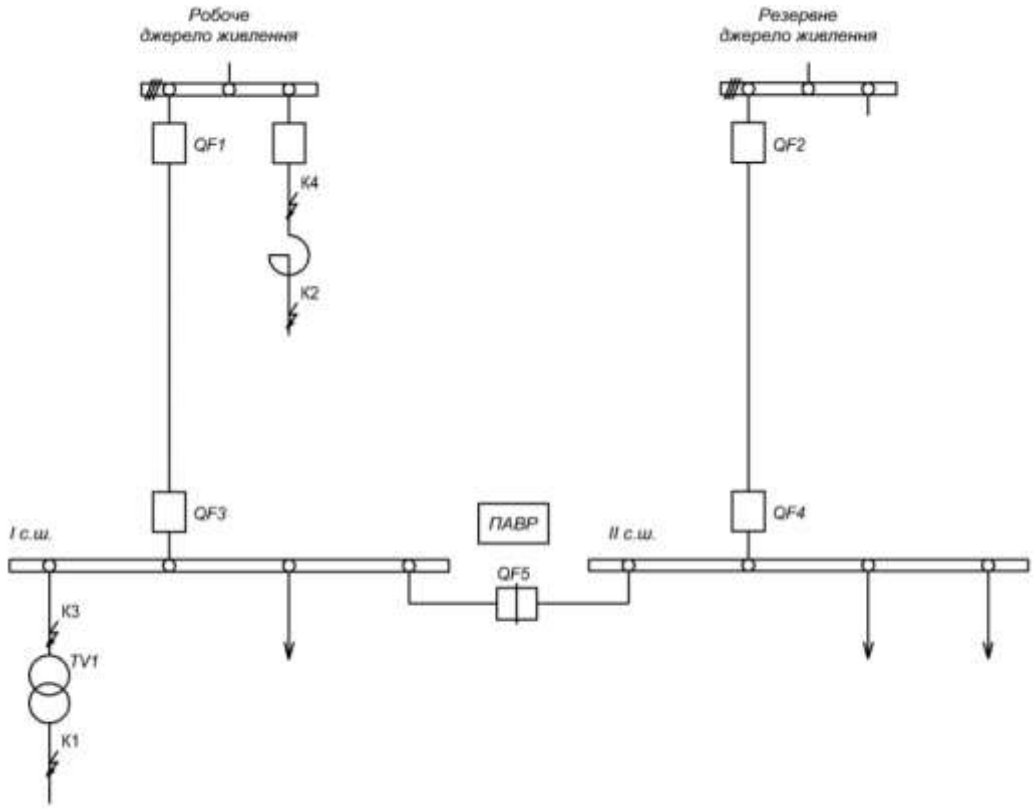

Рис. 5.1. Пристрій АВР на секційному вимикачеві

Розглянемо пристрій АВР на секційному вимикачеві QF5. Кожна секція живиться від окремого джерела. Пристрій АВР двосторонньої дії вимикає вимикач QF5, при вимкненні будь-якого джерела і зниженні напруги на будь-якій секції шин. Але перед цим пристрій АВР повинен вимкнути вимикач QF3 або QF4, якщо вони залишилися ввімкненими, при зникненні напруги на відповідній секції. Для цього вводиться пусковий орган у вигляді мінімального реле напруги. В загальному випадку пристрій АВР має і орган витримки часу. Пристрій АВР односторонньої дії використовується, якщо резервується одна секція (наприклад I). Тоді вимикач QF5 вмикається лише при зменшенні напруги на цій секції, але попередньо вимикається вимикач QF3. Мінімальний пусковий орган напруги не повинен працювати при зменшенні напруги на шинах, яке викликане струмом КЗ і при перегорянні запобіжника в одній з фаз вимірного ТН. Напруга спрацювання реле визначається з двох умов:

$$U_{с.р1} \le \frac{U_{к.зал.}}{K_{від.} K_u} \quad (5.1)$$

$$U_{с.р1} \le \frac{U_{сзп}}{K_{від.} K_u K_п} \quad (5.2)$$

де $U_{к.зал.}$ - залишкова напруга на шинах, що резервується при КЗ за елементом з зосередженим опором (трансформатор, реактор; точка К1, К2); $U_{сзп}$ – мінімальна робоча напруга на шинах, що резервуються при самозапуску двигунів: $K_{від}$=1,1 - 1,3; $K_п$=1,25.

У практичних розрахунках приймають:

$$U_{с.р1}=(0,25…0,4)U_{ном}/K_U \quad (5.3)$$

$$t_{АВР1} \ge t_{с.з.max}+\Delta t, \quad (5.4)$$

- витримка часу дії пристрою АВР. Де $t_{с.з.max}$ - максимальна витримка часу захисту приєднань, які відходять від шин джерела живлення і від шин, що резервуються.

За наявності пристрою АВР $t_{АВР1}$ необхідно збільшити на час дії АПВ, щоб автоматичне введення резерву здійснювалося лише після невдалого АПВ. Для запобігання невірних спрацювань при перегорянні запобіжників або інших несправностей в колі трансформатора напруги використовується два різних мінімальних реле напруги, які вмикаються на різні ТН. Додатково встановлюється мінімальне реле струму, яке вмикається на струм в лінії. Струм спрацювання реле:

$$I_{с.р} \le \frac{I_{роб.min}}{K_{від} K_I} \quad (5.5)$$

Такий пусковий орган спрацює при одночасному зникненні напруги на шинах і струму в лінії. Дія пристрою АВР доцільна за наявності напруги на резервному джерелі живлення. Тому вмикається максимальне реле напруги, яке контролює наявність напруги на резервному джерелі. Воно вмикається до шин, які живляться від резервного джерела. При мінімальній робочій напрузі реле знаходиться в стані після спрацювання, дозволяючи дію пускового органу пристрою АВР

$$U_{с.р2}=(0,65\ldots0,7)U_{ном}/K_U \quad (5.5)$$

Для забезпечення одноразовості дії пристрою АВР і для того, щоб вимикач багаторазово не вмикався на існуюче КЗ, час дії на вмикання вимикача повинно бути:

$$t_{АВР2}=t_{вм.в}+t_{зап} \quad (5.6)$$

де $t_{вм.м}$ - час ввімкнення вимикача; $t_{зап}$ час запасу (0,3-0,5) сек.

Якщо при дії АВР не забезпечується самозапуск двигунів, то необхідно вимкнути частину навантаження.

5.2. Пристрій АПВ

Згідно з ПУЕ, пристрої АПВ обладнуються повітряні і змішані повітрянокабельні лінії напругою понад 1 кВ. За наявності відповідної комутаційної апаратури АПВ розрізняються:

- за кількістю фаз, що вмикаються пристроєм АПВ (три і однофазним);
- за наявністю перевірки синхронізму:
- за способом дії на привод вимикача (механічні і електричні);
- за кратністю дії (одно і багато разові).

Вимоги до АПВ:

1. Постійна готовність і спрацювання при усіх випадках аварійного вимкнення вимикача, крім випадків, коли вимикач вмикається резервним захистом відразу після вмикання його персоналом або при оперативних вимкненнях.

2. Мінімальний час спрацювання для зменшення тривалості перерви живлення. Для успішної дії АПВ необхідний час для відновлення готовності приводу до роботи, деіонізації середовища в точці пошкодження, готовності вимикача для відновлення вимикаючої здатності. Визначальним є час готовності приводу. Тоді час спрацювання АПВ визначається:

$$t_{АПВ.с}=t_{гп}+t_{зап} \quad (5.7)$$

де $t_{АПВ}$ приймається рівним (0,5-0,8) сек.

В окремих випадках, коли велика ймовірність пошкодження лінії при падінні дерев, витримка часу приймається завищеною (2-3 сек, що збільшує успішність АПВ).

3. Автоматичне повернення пристрою АПВ в стан готовності до нової дії після ввімкнення в роботу вимикача. Для цього необхідно, щоб пристрій багаторазового не вмикався на КЗ, що не зникло:

$$t_{АПВ.П} \geq t_{АПВ.С}+t_{ВМВ}+t_{с.з.max}+t_{в.в}+t_{зап.}(5.8)$$

де $t_{в.в}$, час вимкнення вимикача.

Крім цього, пристрій повинен бути готовим до дії не раніше ніж це допустимо згідно з умовою роботи вимикача після успішного вмикання його пристроєм АПВ. До одноразового АПВ вимоги третього пункту використовуються якщо $t_{АПВ.П}$ = 15 – 25 сек. Для АПВ багаторазової дії в час АПВ після другого циклу повинен бути 60 - 100сек. Схеми електричного АПВ виконують на постійному або змінному оперативному струмі. Механічне АПВ вантажних і пружинних приводів не потребують оперативного струму. Вони діють при спрацюванні влаштованих реле прямої дії і вмикають вимикач, що вимкнувся бел витримки часу. При встановленні АПВ на лінії з двостороннім живленням необхідно врахувати необхідність її вимкнення з двох сторін, тому АПВ встановлюється з двох сторін.

У загальному випадку необхідно врахувати недопустимість несинхронного повторного вмикання. Це забезпечується використанням АПВ з контролем механізму. Але, як правило, в СЕП є один шунтуючий зв'язок і вимкнення однієї лінії не призводить до зникнення синхронізму, тому в таких випадках можна використовувати прості АПВ.

АПВ дозволяє зменшити час спрацювання захисту при неможливості реалізації швидкодіючого захисту і за наявності не селективного захисту, селективно вимикати пошкоджену лінію.

5.3. Пристрій автоматичного частотного розвантаження

У разі відсутності в системі резерву активної потужності вимкнення резерву генераторів ввімкненням нових споживачів, супроводжується зменшенням частоти. Для відновлення заданого режиму роботи автоматично вимикається частина найменш відповідальних споживачів з допомогою пристрою АЧР. Він виконується реагуючим на зміну абсолютної величини частоти або на швидкість її зміни. Вимірним органом є реле частоти. Щоб уникнути вимкнення лишніх споживачів при малих дефіцитах активної потужності, навантаження розбивається на черги. Пристрій АЧР1 є швидкодіючим з однією для усіх черг витримкою часу 0,3сек., і різними уставками спрацювання за частотою від 49,2 до 46,5Гц. Мінімально допустима ступінь селективності 0,1Гц. Потужність споживачів, ввімкнених до АЧР1, визначається за формулою:

$$P_{*АЧР1}=\Delta P_{*Д}-\Delta P_{*Р}+0,05 \quad (5.9)$$

де $P^*_д$ - дефіцит генерованої потужності; $P^*_р$ - резерв активної потужності на електричних станціях, що працюють.

За базисну прийнята споживана потужність енергосистеми у вихідному режимі. Призначення АЧР1 є стримування зменшення частоти на початку аварії і недопускання навіть короткочасного зменшення нижче 45Гц. Пристрій АЧР2 має черги з однаковими уставками 49Гц, які відрізняються витримками часу від 50-10сек до 60-90сек, ступеня селективності 3сек. Якщо під час дії АЧР1 не вдається відновити і вона зависає на недопустимому рівні (менше 48Гц), то АЧР2 з відповідними витримками часу вимикає додаткове навантаження. Сумарне навантаження, яке вимикається до АЧР2:

$$P_{*АЧР2}=0,4*P_{,АЧР1} \quad (5.10)$$

Відповідальніші споживачі під’єднуються до черг АЧР1 з меншими уставками за частотою, а до черг АЧР2 з більшими витримками часу. Для зменшення сумарної потужності, що вимикаються, суміщають дію АЧР1 і АЧР2. При цьому одне і те ж навантаження під’єднується до черг обох пристроїв. Після відновлення частоти діє пристрій частотного АПВ, що фіксується замиканням контактів реле частоти. Відбувається повторне вмикання споживачів. Уставки реле приймаються рівними 49,5-50Гц, мінімальна витримка часу на вмикання становить 10-20сек, ступінь селективності 5 сек. Пристрої АЧР і частотного АПВ застосовуються в мережах 6-10кВ на приєднання з вимикачами, обладнаними пружинними і вантажними приводами.

РОЗДІЛ 6

СТРУМОВІ НАПРАВЛЕНІ ЗАХИСТИ

6.1. Принцип дії і основні органи струмового направлення захисту

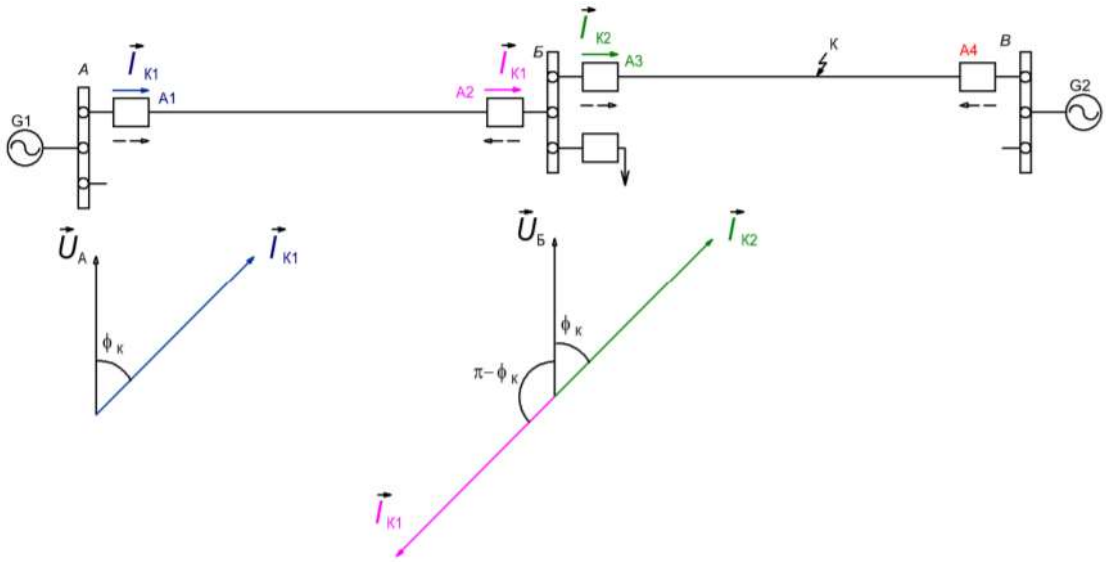

Рис. 6.1. Мережа з двостороннім живленням

Для селективної дії в мережах з двостороннім живленням струмовий захист доповнюється вимірним органом напряму потужності. Захист називається направленим, якщо він реагує на величину струму і напрям (знак) потужності КЗ в місці його встановлення. Захист має, як правило, орган витримки часу. Такий захист спрацює у разі виконання двох умов:

1. Струм КЗ перевищує струм спрацювання.
2. Напрям (знак) потужності КЗ відповідає КЗ в напрямку, що захищається.

Умовно додатній напрям струму КЗ, що захищається, задається від шин в сторону лінії, яка захищається. Напрям потужності КЗ характеризується кутом між струмом КЗ і напругою в місці встановлення захисту. Кут $\varphi_к$ зсуву струму КЗ відносну напруги вважається додатнім, якщо вектор струму відстає від вектора напруги. Захист АЗ виконується так, щоб він діяв на вимкнення лише при кутах між

струмом і напругою, які відповідають КЗ на лінії Л2 і не діє при пошкодженнях на лінії Л1. Тому реле напрямку потужності при підведенні до нього напруги $U_б$ і струму I_{k2} спрацює при кутах $\varphi_к$. Захист А1 спрацює при підведенні напруги U_1 і струму I_{k1}. Захист А2 при пошкодженні в точці К не спрацює, оскільки струм I_{k1} направлений на зустріч заданому умовному додатному напряму. Кут між векторами $U_б$ і струмом I_{k1} становить 180° - $\varphi_к$.

Для селективного вимкнення лінії Л2 необхідно узгодити параметри захистів А1 і А3. Завдяки органу напряму потужності усі захисти розбиваються на дві групи, не пов’язані між собою. На схемі мережі, яка наведена на рис. 6.1, можна розділити на такі групи:

I група - захищає А1, А3,

II група - захищає А2, А4.

6.2. Вибір параметрів максимального струмового направлення захисту

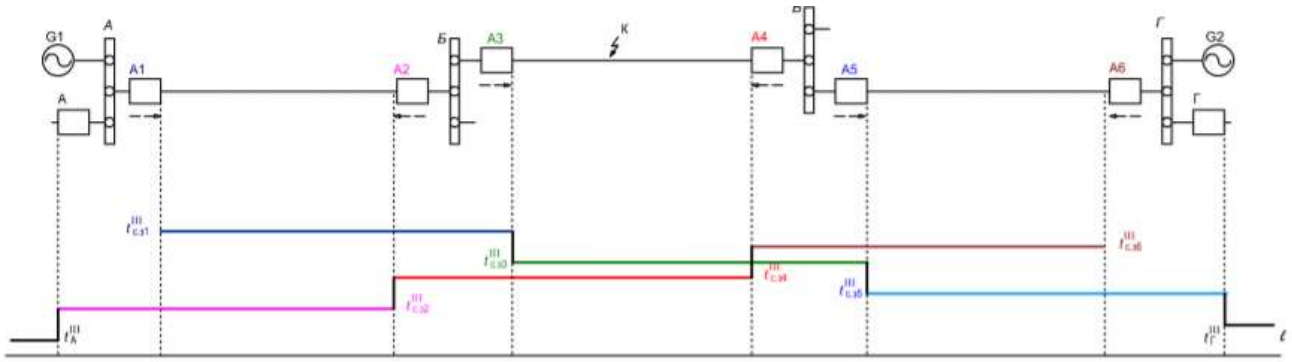

Рис. 6.2. Схема ліній підстанцій на КЗ

Для вибору витримки часу захист розбивається на дві групи:

1. А2, А4, А6,

2. А5, А3, А1.

У межах кожної групи витримки часу вибирається за ступеневим принципом. Мінімальну витримку мають захисти А2 і А5. Вони відгладжуються від захисту приєднань підстанції А та Г. За наявності на підстанції кількох приєднань захист, що

має найбільшу витримку часу, може не мати органу напрямку потужності, оскільки селективність його дії при КЗ менших приєднаннях забезпечуються витримкою часу. На підстанції Б $t_3 > t_2$. На підстанції В $t_4 > t_5$. Тому захисти А3 і А4 можна виконати без органу напряму потужності. На кожній ділянці обов'язково повинен мати направлений орган лише один захист, той, який має меншу витримку часу. На лінії АБ $t_1 > t_2$, а на ВГ $t_6 > t_5$. Захисти А1 і А6 можна виконати без органу напрямку потужності.

При однаковій витримці часу обидва захисти обох кінців ліній можуть бути ненаправленими. На лінії БВ $t_3 = t_4$, тому захисти А3 і А4 можна виконати ненаправленими. Отже, захисти А1, А3, А4, А6 можуть виконуватися без органу напряму потужності. Часто передбачається орган напряму потужності, щоб при зміні уставок була можливість зробити захист при необхідності направленим.

Струм спрацювання відлагоджується:

1. Від над перехідного струму після вимкнення, після зовнішнього КЗ:

$$I_{с.з} \geq \frac{K_{від} * K_{сзп}}{K_{п}} * I_{роб.max} \quad (6.1)$$

При визначенні струму $I_{роб.max}$ враховується лише максимальний режим, який відповідає напряму потужності від шин до лінії при вимкненні однієї з ділянок мережі.

2. Від струму навантаження:

$$I_{с.з} \geq \frac{K_{від}}{K_{п}} * I_{нав.} \quad (6.2)$$

де $I_{нав.}$ - струм що проходить в нормальному режимі незалежно від напрямку потужності.

1. Від перехідних струмів після вдалого АПВ пошкодженої ділянки:

$$I_{с.з} \geq K_{від} * K_{сзп} * I_{роб.max} \quad (6.3)$$

2. Погодження захистів за чутливістю:

$$I_{с.з6} > I_{с.з4} > I_{с.з2},$$
$$I_{с.з1} > I_{с.з3} > I_{с.з5}. \quad (6.4)$$

Тобто, захист, що має витримку часу, має і менший струм спрацювання. Таким чином, струм спрацювання, як і витримки часу, повинні задовольняти зустрічно ступеневому принципу і вибираються за умовою, яка дає більшу величину струму.

6.3. Схеми вмикання реле напряму потужності

В схемі вмикання реле повинно бути поєднання вхідних напруг і струму. Схема повинна в собі мати:

1. Правильну фіксацію напряму потужності КЗ при усіх пошкодженнях, на які захист повинен реагувати.

2. Якомога більша потужність на вході реле при КЗ для збільшення чутливості і надійності її захисту.

У схемах струмового направленого захисту реле напряму потужності вмикається на повні струму і напруги фаз. Використовується також схеми з вмиканням реле на складові усіх послідовностей. Найпоширенішою є 90° схема вмикання реле напрямку потужності. Схема називається за величиною кута між векторами струму і напруги, які підводяться до реле в нормальному симетричному режимі, коли вектор струму і напруги однойменних фаз співпадають.

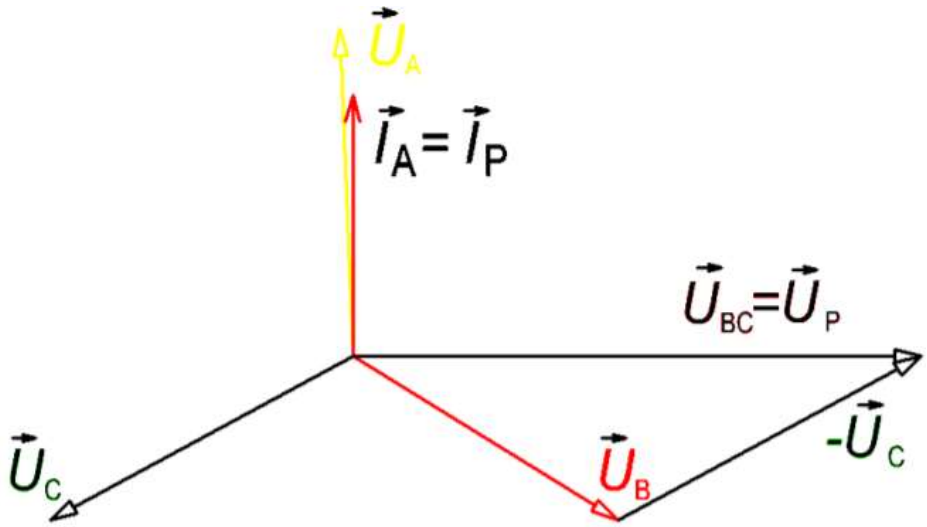

Рис. 6.3. 90° схема вмикання реле напрямку потужності

При цьому використовується таке поєднання фазних струмів і між фазних напруг: до одного реле підводиться струм I_A, напруга U_{BC}, до другого – I_B. U_{AC} і до третього – I_C, і U_{AB}. (1 - лінія максимальної чутливості, 2 - лінія нульової чутливості); γ_U - кут між вектором напруги підведеної до реле і вектором струму, якій протікає через напругову обмотку.

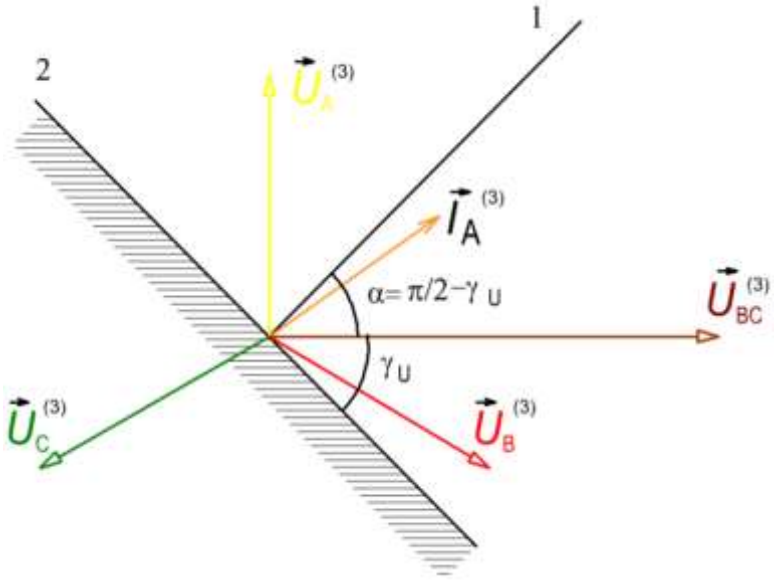

Рис. 6.4. Схема при трифазному КЗ

При трифазному КЗ до реле напряму потужності підводяться струм $I_A^{(3)}$ і напруга $U_P^{(3)}$. Зона роботи реле визначається положенням лінії нульової чутливості, яка проводиться під кутом γ_U до вектора $U_P^{(3)}$. Оскільки вектори $I_A^{(3)}$ і $U_P^{(3)}$ розташовані в зоні спрацювання реле при усіх можливих співвідношеннях активного і реактивного опору ділянки від місця вмикання реле до точки КЗ, то реле має завжди обертальний додатній момент. Воно може не спрацювати при КЗ в мертвій зоні, яка утворюється при металічному трифазному КЗ біля місця вмикання реле, коли напруга яка підводиться до реле, дорівнює нулю.

Властивості схеми:

1. Чітке спрацювання при три- і двофазному КЗ для три- і двофазного захисту.

2. Наявність мертвої зони.

Можливе неправильне спрацювання при три- і однофазному КЗ на землю, коли реле ввімкнене на непошкоджену фазу.

Для реле повинна виконуватись умова: $+30° < \varphi_{р.м.ч} < +60°$.

Тому застосовуються пофазний пуск, а струми спрацювання МСЗ вибираються з урахуваннями відлагодження від струмів у непошкоджених фазах. Мертва зона направленого захисту перекривається зоною дії ненаправленої струмової відсічки.

6.4. Струмовий направлений захист із ступінчатою характеристикою витримки часу

Цей захист створюється з поєднанням струмових направлених відсічок з максимальним струмовим направленим захистом. Наявність органу напряму потужності дозволяє при виборі струмів спрацювання враховувати лише ті режими, при яких потужність направлена від шин в лінію. Струмовий направлений захист із ступінчатою характеристикою витримки часу забезпечує селективне вимкнення пошкодженої ділянки в радіальних мережах з кількома джерелами живлення і в кінцевих мережах з одним джерелом живлення. Але у

зв’язку з зустрічно-ступеневим принципом вибору витримки часу третього ступеня часу вимкнення пошкодженої ділянки біля джерела живлення є значним. Це обмежує застосування третьої ступені як окремого захисту.

РОЗДІЛ 7

ЗАХИСТ МЕРЕЖ ВІД ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ В МЕРЕЖАХ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ

7.1. Короткі відомості

Замикання на землю в мережах з ізольованими нейтралями не є аварією, тому допускається робота мережі з таким пошкодженням; при струмі замикання на землю 10, 20, 30А в мережах відповідно 6,10 без залізобетонних опор допускається робота до двох годин. За наявності залізобетонних опор струми не повинні перевищувати 10 А в усіх мережах. При більших струмах передбачається встановлення дугогасних реакторів. Допускається деяка перекомпенсація для зменшення пошкодження. Найчастіше захист виконується на сигнал. В окремих випадках вимагається дія захисту на вимкнення. Захист від замикань на землю вважається селективним, якщо він правильно визначає напрям приєднання, де виникло пошкодження.

7.2. Розподіл струмів при замикань на землю

При замиканні на землю в місці пошкодження виникає напруга нульової послідовності U_0, під дією якої проходять струми нульової послідовності, що замикаються через ємності фаз кожної лінії і дугогасний реактор. Ємнісний струм нульової послідовності проходить через усі пошкоджені і не пошкоджені лінії мережі. Струм дугогасного реактора замикається лише через пошкоджену лінію Л1. В непошкоджених лініях Л2 і Л3 через ТС нульової послідовності захисту проходить ємнісний струм нульової послідовності, який замикається через ємності окремих фаз ліній і направлений до шин.

$$I_{02}=3U_0\omega C_2,$$
$$I_{03}=3U_0\omega C_3. \quad (7.1)$$

Ємнісний струм нульової послідовності, який проходить через ТС нульової послідовності пошкодженої лінії, направлений без шин і визначається як різниця ємнісного струму усієї мережі струму пошкодженої лінії

$$I^{(1)}=3U_0\omega C-3U_0\omega C_1, \quad (7.2)$$

де С - ємність фаз усієї електрично зв’язаної мережі

За наявності дугогасного реактора струм через трансформатор струму:

$$I^{(1)}=3I_0-(3I_{0c}-I_{01})=3U_0 / X_l \; 3U_0\omega\,(C-C_1) \quad (7.3)$$

Напрям результуючого струму залежить від того, яка складова більша - індуктивна чи ємнісна. У некомпенсованій мережі можна використовувати направлений захист, який реагує на реактивну потужність нульової послідовності, зумовлену ємнісним струмом. В мережах з перекомпенсацією реактивний струм пошкодженої лінії і ємнісний на пошкодженій, мають однаковий напрям, тому направлений захист не використовується.

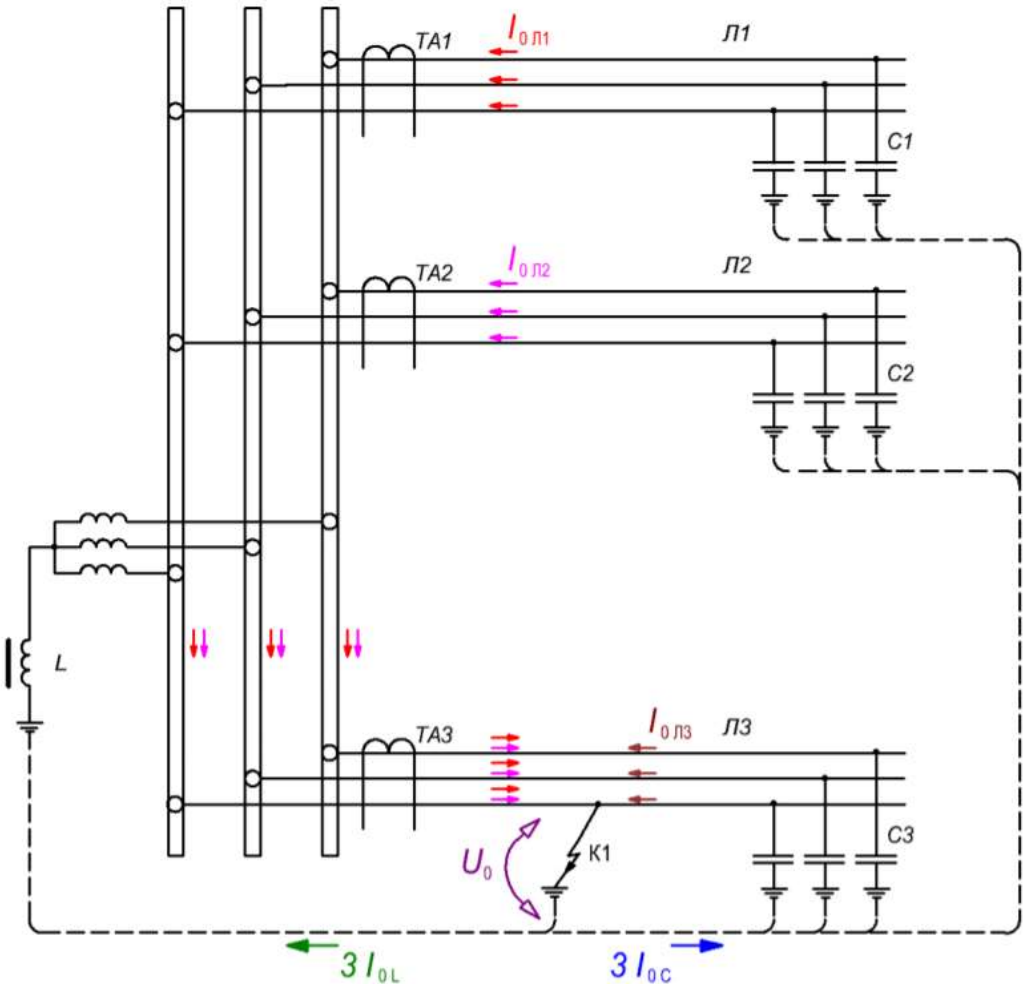

Рис. 7.1. Розподіл струмів при замиканні на землю

7.3. Вимоги до захистів від замикань на землю

Дія на сигнал полегшує і спрощує захист, дає можливість протягом двох годин точніше виявити пошкоджений елемент і вимкнути його. Згідно з вимогами ТБ вимкнення без витримки часу використовується на торфорозробках, пересувних будівельних механізмах, в гірнорудній промисловості. Це полегшує роботу мережі, зменшує ймовірність переходу однофазного замикання на землю в подвійне замикання на землю, яке супроводжується великими струмами КЗ і кроковою напругою.

Селективність при зовнішніх замиканнях на землю при захисті, які діють на вимкнення.

Для спрощення допускається не встановлювати захист на елементах, віддалених від джерела живлення, коли фазне замикання малоймовірне або важко виконати захист.

Захист повинен реагувати на однофазні замикання через періодично зникаючу дугу і короткочасні замикання на землю, якщо можливо і доцільно виявити їх місце виникнення.

Неперервність дії захисту, який повернений персоналом у вихідне положення для перевірки стійкості для замикання на землю при даному напряму після вимкнення персоналом передбачуваного пошкодженого елемента .

7.4. Пристрій загальної неселективної сигналізації

Замикання на землю однієї фази в мережах 6-10 кВ не є аварією і споживачі, які ввімкнені на лінійну напругу, продовжують нормально працювати. Це дає можливість виконати захист від замикань на землю діючим на сигнал. В мережах простої конфігурації допускається використовувати лише пристрій загальної неселективної сигналізації, який контролює стан ізоляції. Схема складається з трьох мінімальних реле напруги, ввімкнених на напругу фаз відносно землі або одного максимального реле напруги, який ввімкнений на напругу нульової послідовності. Пристрій вмикається до трансформаторів напруги, які встановлені на шинах розподільчого пристрою.

7.5. Струмові захисти нульової послідовності, які реагують на струми усталеного режиму

Тривала робота мережі при однофазному замиканні на землю не допускається, оскільки:

Можливе порушення між фазної ізоляції в місці пошкодження і перехід однофазного замикання в багатофазне КЗ.

Можливі подвійні замикання на землю внаслідок збільшення напруги непошкоджених фаз відносно землі в $\sqrt{3}$ разів.

Оскільки робочі струми звичайно більші, ніж допустимі струми замикань на землю, то струмовий захист виконується з вмиканням реле на фільтр струму нульової послідовності. Для забезпечення не дії захисту при пошкодженнях на інших елементах, коли через лінію, що захищається, проходить струм обумовлений ємнісним струмом цієї лінії. Струм спрацювання захисту приймається рівним:

$$I_{С.З} = K_{ВІД} \cdot 3I_0 \quad (7.4)$$

де $K_{від}$ = 4/5 для захисту без витримки часу і 2/2,5 для захисту з витримкою часу.

Чутливість захисту визначається за формулою:

$$K_Ч = \frac{I^{(1)}}{I_{С.З}} \quad (7.5)$$

Для ПЛ $K_ч$ >1,5, для КЛ $K_ч$> 1,25. Струм однофазного замикання визначається при мінімальній можливій кількості ввімкнених елементів.

Як фільтр нульової послідовності використовується в ТС нульової послідовності. Воронка і кабель ізолюються від землі. Тоді струм, що проходить через броню і оболонку кабелю компенсуються струмами, що протікають через заземлений провідник. Струмовий захист використовується лише в розгалуженні радіальної мережі, коли сумарний мінімальний ємнісний струм набагато перевищує ємнісний струм в лінії, що захищається. Якщо власний ємнісний струм лінії спів мірний з струмом замикання на землю, то використовується направлений захист. Відлагодження від зовнішнього замикання на землю забезпечується напрямком дії захисту, а від струму і напруги небалансу, використання органу напрямку потужності. На такому принципі побудовані реле ЗЗП-11.

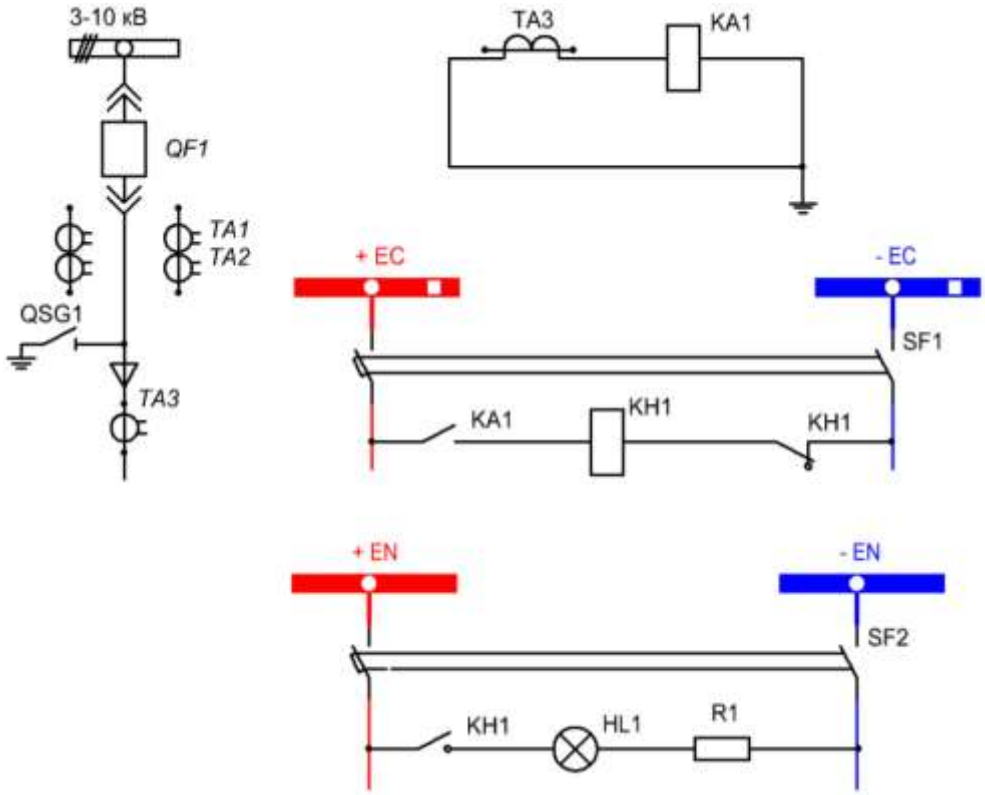

Рис. 7.2. Схема струмових захистів нульової послідовності

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи ми ознайомились з пристроями захисту малопотужних систем, типи захисних реле. Основні характеристики реле, їх призначення, та використання захисних реле при виявленні КЗ. Реле виявляє збої та порушення та автоматично відключає пошкоджений елемент або проводить автоматичні операції для відновлення нормального стану, або попереджає звуковим сигналом працівників які повинні виправити неполадки. Використання релейного захисту при КЗ запобігає розвитку аварії та зменшує розміри пошкоджень. При спрацюванні РЗ та вимкнення пошкодженого елемента, захист діє на сигнал. Ознайомились з типами КЗ: трифазні, двофазні, двофазні на землю в системах з глухо заземленими нейтралями, однофазні несиметричні на землю заземленими нейтралями. КЗ можуть привести до руйнування або виведення зі строю пошкодженого елемента, руйнування обладнання на суміжних з пошкодженим елементом об’єктах електроенергетичної системи, пониження рівня напруги у вузлових точках електроенергетичної системи. При КЗ потрібно в електроенергетичній системі потрібно швидко вимкнути пошкоджений елемент від джерела живлення. Релейних захист не допомагає запобіганню виникненню пошкодження, він працює тільки після виникнення КЗ. Його основна мета зменшити руйнування пошкодженого елемента або зменшити масштаби руйнування електричних ліній після КЗ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Говоров П. П. Релейний захист і автоматика в системах електропостачання / Говоров П. П., 1996.

2. Федосеев А. М. Релейная защита электрических систем / Федосеев А. М., 1976.

3. Шабад М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей / Шабад М. А., 1972.

4. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / Андреев В. А., 1991.

5. Правила устройства электроустановок/Минэнерго СССР/. – М.: Энергоатомиздат, 1986.

6. Довідник по електропостачанню і електроустаткуванню. Під редакцією Л.А. Федорова – М.; Енергоіздат, 1987.

7. В.М. Блок, Г.К. Обушев Л.Б. Паперно и др. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электротехнических специальностей вузов. – М.: Высш. шк., 1990. –383с.

8. Голубев М.Л. Расчет токов короткого замыкания в электросетях 0,4-35 кВ.- М.: Энергия, 1980.- 88 с.

9. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. – М.: ФОРУМ: ИНФА-М, 2005.- 214 с

10. Козлов В.Д., Єнчев С.В. Електричні апарати. Модуль 3. Вимірювальні, контролювальні та захисні апарати: Посібник – К.: НАУ, 2007. – 72 с.

11. Козлов В.Д., Мазур Т.А., Соколова Н.П. Електрична частина станцій та підстанцій. – К. : НАУ, 2017. 32с.

12. Козлов В.Д., Соломаха М.І. Електричні апарати. Модуль 2. Комутаційні апарати низької та середньої напруги: Посібник – К.: НАУ, 2006. – 84 с.

13. Закон України від 22 листоп. 2002 р. № 235-IV «Про охорону праці».

14. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення. – 346 с.