

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни «Основи релейного захисту та автоматизації систем»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(Електромеханіка)***

За темою № 4 - Первинні вимірювальні перетворювачі струму та напруги

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023р № 1.

Розробники:

Викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., доцент, викладач вищої категорії, Шокарьов Д.А.

Рецензенти:

- 1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю. М.*
- 2. К.т.н., професор, завідувач кафедру електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Лазуренко О.П.*

План лекції:

1. Струмові направлені захисти. принцип дії, основні органи та вибір параметрів струмового направленої захисту і струмового направленої захисту нульової послідовності
2. Схеми й загальна оцінка струмових направлених захистів і струмових направлених захистів нульової послідовності

Рекомендована література:

Основна:

1. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник.- Львів:Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2013. – 533 с.
2. Чернобровов Н.В. Релейная защита энергетических систем/ Чернобровов Н.В., Семенов В.А. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.
3. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита/ Шнеерсон Э.М. – М.: Энергоатомиздат, 2007. -549.

Допоміжна література:

4. Андрев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учеб.для вузов/ В.А.Андреев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш.шк., 2006 – 639 с.
5. Басс Э.И. Релейная защита электроэнергетических систем: учеб.пособие/ Басс Э.И., Дорогунцев В.Г.; под ред. А.Ф.Дьякова. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 296 с.
6. Дьяков А.Ф. Микропроцессорная автоматикаи рлейная защита электроэнергетических систем: учеб. пособие для вузов./ А.Ф.Дьяков, Н.И.Овчаренко. – М.: Изд. дом МЭИ, 2008. – 336 с.
7. Циглер Г. Цифровая дистанционная защита: принципы и применение/ Циглер Г.; пер. с англ. под ред. Дьякова А.Ф. – м.: Энергоиздат, 2005. – 322 с.
8. Перехідні процеси в системах електропостачання/ [Півняк Г.Г., Винославський В.М., Рибалко А.Я., Несен Л.І.]; за ред. академіка НАН України Г.Г.Півняка. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2002. – 597 с.
9. Куликов Ю.А. Переходные процессы в электрических системах: учеб.пособие/ Куликов Ю.А. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 283 с.
10. Reimert D.Protective relaying for power generation/ Donald Reimert/ - USA, FL, Boca Raton: CRC Press, 2006/ - 561 p.
11. Preve C. protection of electrical networks/ Christophe Preve/ - GB: Antony Rowe Ltd, Chippenham, Wiltshire, 2006. – 508 p.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

12. Офіційний сайт Міністерство енергетики та вугільної промисловості України <http://mpe.kmu.gov.ua/>

СТРУМОВІ НАПРАВЛЕНІ ЗАХИСТИ. ПРИНЦИП ДІЇ, ОСНОВНІ ОРГАНИ ТА ВИБІР ПАРАМЕТРІВ СТРУМОВОГО НАПРАВЛЕНОГО ЗАХИСТУ І СТРУМОВОГО НАПРАВЛЕНОГО ЗАХИСТУ НУЛЬОВОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ

Для селективної дії в мережах із двостороннім живленням струмовий захист доповнюється вимірювальним органом напрямку потужності KW . Такий захист називається струмовим направленим.

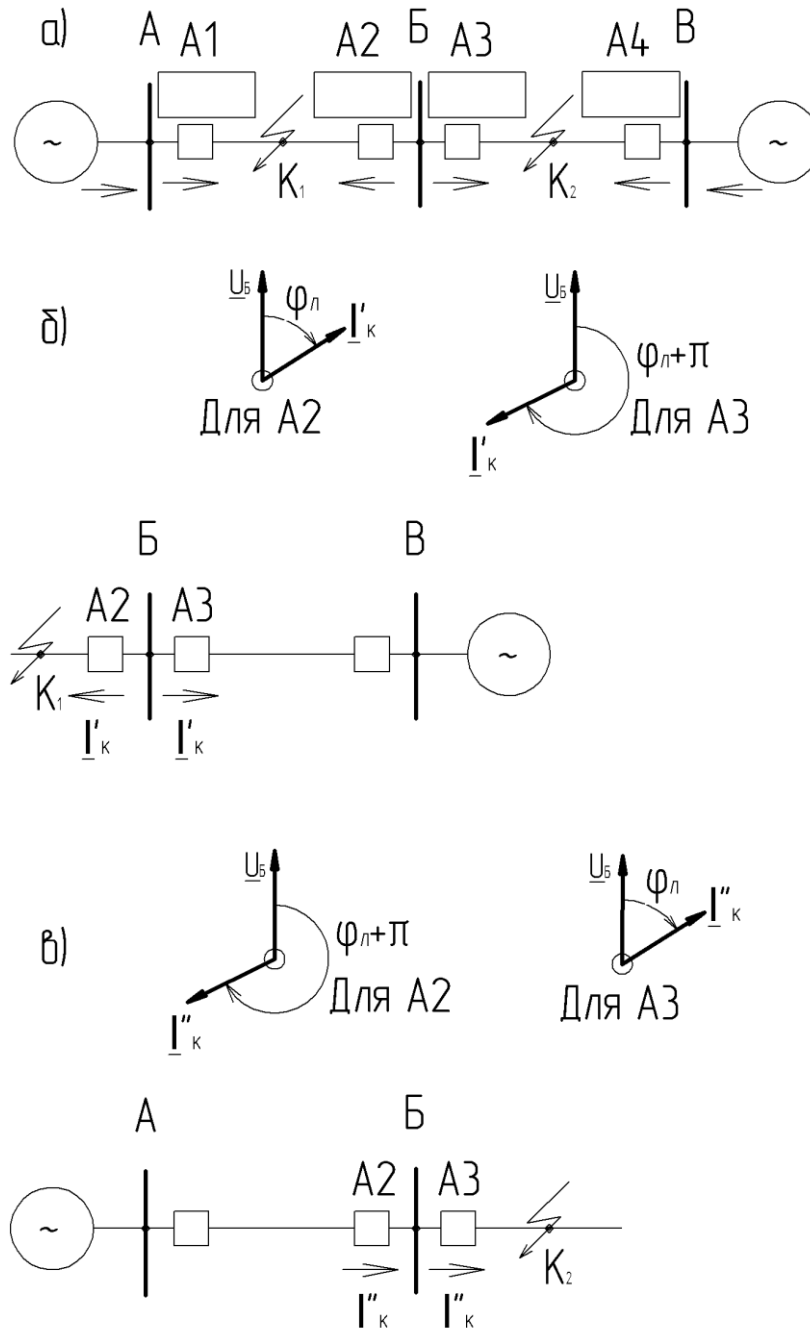


Рис. 4.1. Розміщення захистів у мережі й векторні діаграми, що пояснюють дію струмового направленного захисту

Він, як і струмовий, звичайно виконується триступінчастим з відносною селективністю. Раніше відзначалося, що перший і другий щаблі струмового захисту зберігають селективність у мережах із двостороннім живленням, тому вони можуть і не мати органів напрямку потужності. На відміну від струмового захисту струмовий направлений завдяки реле KW реагує не тільки на абсолютне значення струму в захищаному елементі, але й на його фазу щодо напруги на шинах у місці установки захисту, тобто діє залежно від напрямку потужності при коротких замиканнях. Селективна дія захисту забезпечується відповідним включенням органа напрямку потужності й вибором витримки часу. Розміщення захистів А1 — А4 показано на Рис. 4.1, а. Після розгляду векторних діаграм напруги й струму (Рис. 4.1, б, в) видно, що фаза струму в місці включення захистів А2 і А3 щодо напруги \underline{U}_B на шинах підстанції Б при переміщенні ушкодження із точки K_1 у точку K_2 дискретно змінюється на кут π . При побудові векторних діаграм за позитивний напрямок миттєвого значення струму прийнятий напрямок від шин убік лінії (Рис. 4.1, а). Кут φ_L зміщення фаз струму \underline{I}_K щодо напруги вважається позитивним при відстаючому струмі й негативним при випереджувальному струмі. Захист А2 необхідно виконати так, щоб він діяв на відключення тільки при кутах зміщення фаз між струмом і напругою, що відповідають короткому замиканню в точці K_1 , а захист А3 — при ушкодженні в точці K_2 . Із цього треба, що реле напрямку потужності при підведенні до нього напруги $\underline{U}_P = \underline{U}_B$ і струму $\underline{I}_P = \underline{I}'$ (Рис. 4.1, б) і $\underline{I}_P = \underline{I}''$ (Рис. 4.1, в) повинне спрацьовувати при куті φ_P між \underline{U}_P і \underline{I}_P , рівному φ_L , і не спрацьовувати при $\varphi_P = (\varphi_L + \pi)$. При короткому замиканні в точці K_1 векторна діаграма напруги й струму в місці установки захисту А4 така ж, як і в місці установки захисту А2, у зв'язку із чим приходить у дію й захист А4. Тому для селективного відключення лінії АБ необхідно погодити між собою параметри цих захистів. Аналогічно повинні бути узгоджені параметри захисту А1 і захисту А3. Завдяки органу напрямку потужності всі захисти розбиваються на дві групи (А2, А4 і А1, А3), не зв'язані між собою. У межах кожної групи параметри вибирають, як для струмових захистів.

Перший ступінь захисту. У струмового направленої захисту перший ступінь може бути ненаправлений, залишаючись струмовою відсічкою без витримки часу. Вибір її струму спрацьовування для захисту лінії із двостороннім живленням розглянутий вище. Необхідність в органі напрямку потужності з'являється, якщо потрібно підвищити чутливість струмової відсічки. Так, наприклад (див. Рис. 2.2), направленою доцільно виконати відсічку А1, при цьому з коротким замиканням у точці K_1 можна не рахуватися й струм спрацьовування $I_{с.з.А1}^I$ струмової направленої відсічки А1 відстроювати тільки від максимального струму зовнішнього короткого замикання $I_{к.зовн.мах}^{(3)}$. Таким чином, на лінії із двостороннім живленням направленою може бути тільки одна зі струмових відсічок. Деякі особливості має струмовий направлений захист на лініях постійного струму електрифікованого транспорту. У таких мережах для запобігання перевитрати проведення електричною дугою при к. з. час відключення ушкодженої ділянки не повинен перевищувати 0,1 с. Тому для виконання струмового направленої захисту застосовують

швидкодіючі поляризовані автоматичні вимикачі, наприклад типу АБ 2/3, повний час відключення яких не перевищує 0,08 с.

На основі цих вимикачів неможливо виконати струмовий направлений захист зі східчастою характеристикою витримки часу, тому в тягових мережах постійного струму струмовий направлений захист містить тільки перший ступінь - струмова направлена відсічка - і її прагнуть виконати так, щоб вона захищала всю лінію.

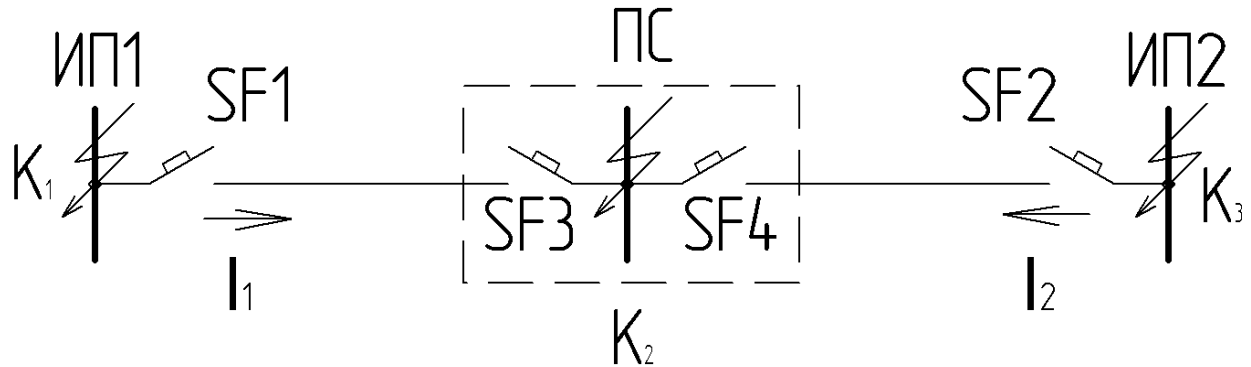


Рис. 4.2. Тягова мережа постійного струму зі швидкодіючими поляризованими автоматичними вимикачами

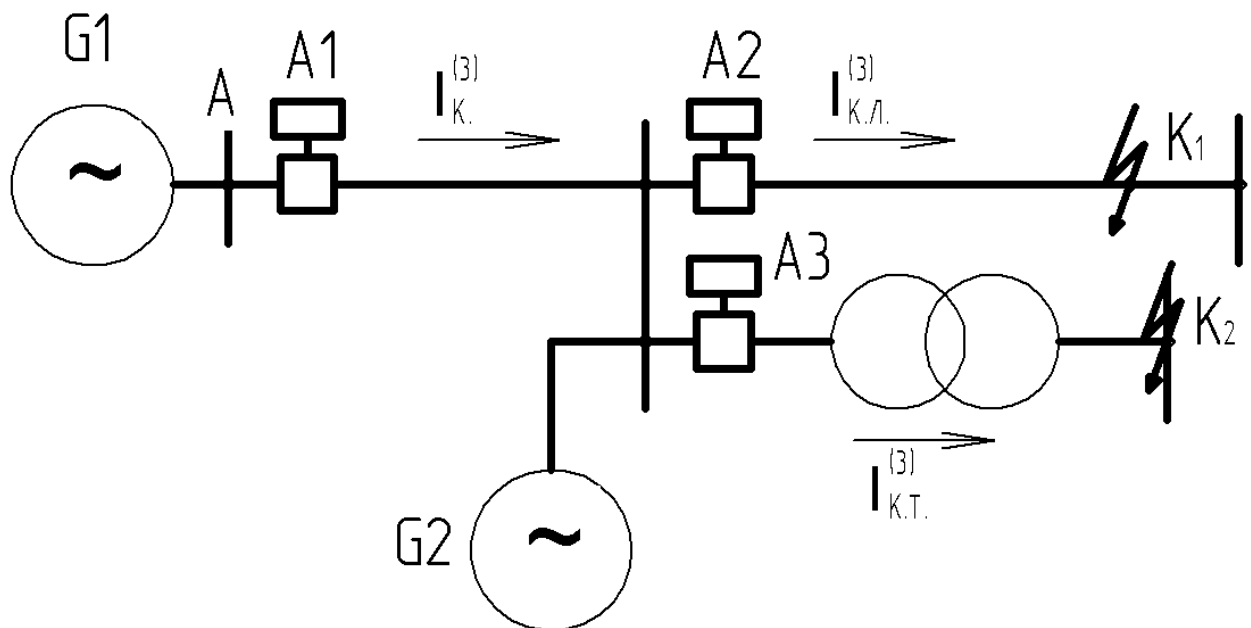


Рис. 4.3. Облік коефіцієнтів строморозподілу при виборі струму спрацьовування другого ступеня струмового направленного захисту

Характерні для таких мереж сумірність струмів к. з. і максимальних струмів навантаження, тому для виконання захисту, що спрацьовує при коротких замиканнях і не діючий у нормальних режимах роботи, лінію між двома джерелами живлення ДЖ1 і ДЖ2 доводиться секціонувати. Пост секціонування (ПС) розташовують приблизно по середині лінії (Рис. 4.2). Для

автоматичних вимикачів SF1-SF4 при виборі струму спрацьовування повинна виконуватися умова [5, 26].

$$I_{\text{роб.маx}} + 150 \leq I_{\text{с.з}}^I \leq I_{\text{Kmin}} - (250 \dots 350). \quad (4.1)$$

Струм $I_{\text{роб.маx}}$ визначається орієнтовно по ймовірному числу поїздів у межах захищеної лінії, один із яких перебуває у режимі зрушення. Мінімальний струм ушкодження I_{Kmin} — струм у місці установки автоматичного вимикача при к. з. у розрахунковій точці. Для автоматичних вимикачів SF1 і SF4 розрахунковою точкою є точка K_2 , для вимикача SF2 — точка K_1 , а для SF3 — точка K_3 . При такому виборі струму спрацьовування можливі як неселективні дії автоматичних вимикачів SF1, SF4, так і наявність незахищених зон біля поста секціонування.

Другий ступінь захисту. Умови вибору параметрів другого ступеня такі ж, як і умови вибору параметрів струмової відсічки з витримкою часу ненаправлених струмових захистів. Це означає, що другий ступінь захисту А1 (Рис. 4.3) повинен бути відстроєний за часом від перших ступенів захисту А2 всіх ліній, що відходять від шин протилежної підстанції, і від швидкодіючих захистів А3 трансформаторів, підключених до цих шин, а її струм спрацьовування повинен бути обраний по найбільшому зі струмів к. з. $I_{\text{K}}^{(3)}$, що проходять по захищеній лінії, при ушкодженні в дії зон захисту перших ступенів наприкінці ліній, що відходять (точка K_1) і при короткому замиканні на шинах нижчої напруги трансформаторів (точка K_2). Витримка часу звичайно не перевищує 0,5 с, а при виборі струму спрацьовування доводиться враховувати так звані струми «підживлення». З розгляду Рис. 4.3 видно, що при коротких замиканнях у точках K_1 і K_2 струм $I_{\text{K}}^{(3)}$, що проходить у місці установки захисту А1, виявляється меншим струмів $I_{\text{к.л}}^{(3)}$ і $I_{\text{к.т}}^{(3)}$ за рахунок струму «підживлення» від генератора G2. Відношення $I_{\text{K}}^{(3)}/I_{\text{к.л}}^{(3)} = k_{\text{р.л}}$ і $I_{\text{K}}^{(3)}/I_{\text{к.т}}^{(3)} = k_{\text{р.т}}$ називаються коефіцієнтами струморозподілу. Їх необхідно врахувати при виборі струму спрацьовування другого ступеня захисту А1 лінії АБ:

$$\begin{aligned} I_{\text{с.зa1}}^{\text{II}} &\geq k_{\text{відстр}}^{\text{II}} k_{\text{р.л}} I_{\text{с.зa2}}^{\text{I}} \\ I_{\text{с.зa1}}^{\text{II}} &\geq k_{\text{відстр}}^{\text{II}} k_{\text{р.т}}^{(3)} \end{aligned} \quad (4.2)$$

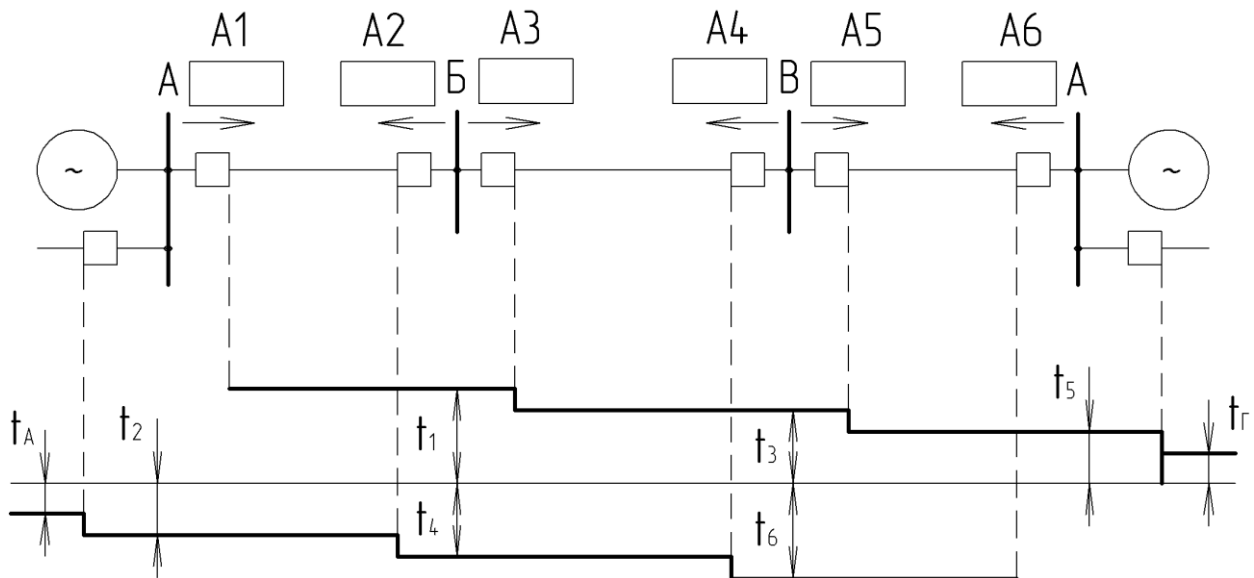


Рис. 4.4. Зустрічно-східчастий принцип вибору витримки часу максимального струмового направеного захисту

Третій ступінь захисту - максимальний струмовий направлений захист. Вибір параметрів захисту розглянемо на прикладі використання її в мережі, показаної на Рис. 4.4.

Вибір витримки часу. Стрілками (Рис. 4.4) зазначений напрямок потужності, при якому органи напрямку потужності дозволяють захистам спрацьовувати. З урахуванням цього захисту об'єднані у дві групи: A2, A4, A6 і A5, A3, A1. У межах кожної групи витримки часу вибираються, як у максимального струмового захисту, по східчастому принципу. Мінімальну витримку часу мають захисти A2 і A5. Вони відстроюються за часом від захистів інших приєднань відповідно підстанцій А і Г. У кожній групі захистів витримка часу збільшується по мірі наближення до джерел живлення на величину Δt . На Рис. 4.4 побудовано характеристики максимальних струмових направлених захистів з незалежною витримкою часу. Прийнято вважати, що витримки часу максимальних струмових направлених захистів вибираються по зустрічно-східчастому принципу.

З огляду на поведінку реле напрямку потужності, можна переконатися в селективній дії захисту при короткому замиканні в будь-якій точці розглянутої мережі. Селективність не порушується, якщо деякі захисти виконати без органа напрямку потужності. В дійсності немає необхідності постачати органом напрямку потужності захист A3, тому що в розглянутому випадку він відстроєний від захисту A2 за часом. За тією ж причиною без органа напрямку потужності можна виконати захист A4, A1 і A6 ($t_4^{\text{III}} > t_5^{\text{III}}$; $t_1^{\text{III}} > t_A^{\text{III}}$; $t_6^{\text{III}} > t_{\Gamma}^{\text{III}}$).

У загальному випадку при наявності на підстанції декількох приєднань захист, що має найбільшу витримку часу, може не мати органа напрямку потужності, тому що селективність його дії при коротких замиканнях на інших приєднаннях забезпечується витримкою часу.

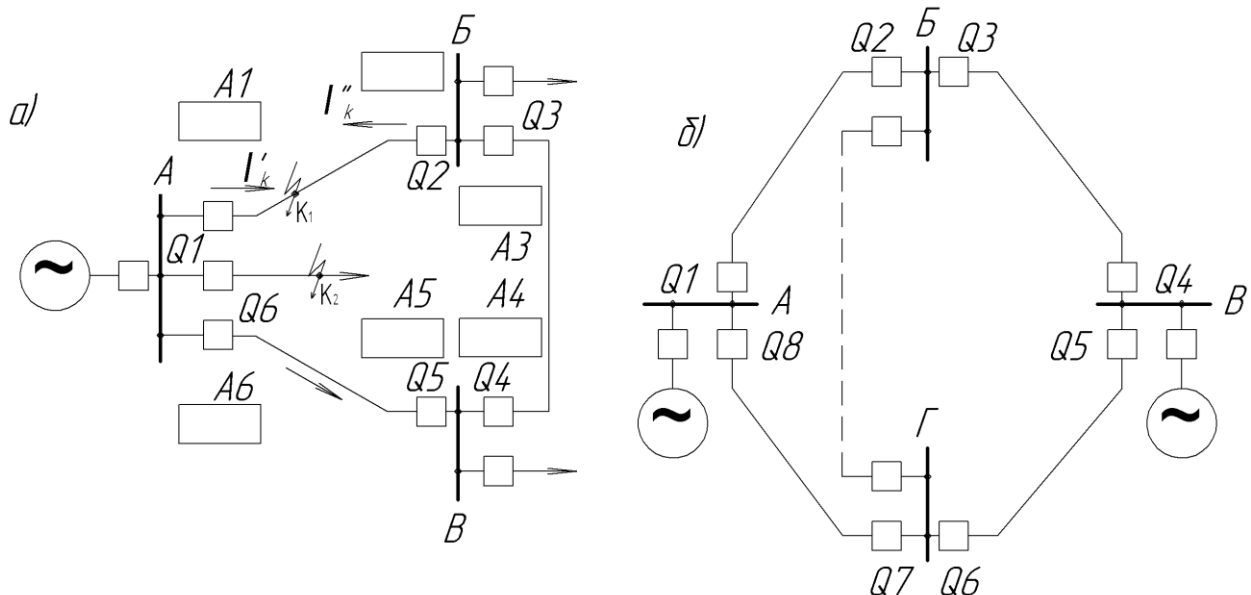


Рис. 4.5. Розміщення й особливості роботи максимального струмового направленої захисту в кільцевих мережах

У кільцевих мережах з одним джерелом живлення (Рис. 4.5, а) витримки часу максимальних струмових напрямків захистів також вибирають по зустрічно-східчастому принципу. При цьому, однак, захисти А2 і А5, встановлені на прийомних сторонах головних ділянок АБ і АВ, можна виконати діючими без витримки часу. Така можливість визначається напрямком потужності в цих захистах. При нормальній роботі, а також при зовнішніх коротких замиканнях на ділянках кільця й інших приєднань підстанцій Б і В, потужність біля місця установки захистів А2 і А5 завжди направлена від ліній до шин, тому їхні органи напрямку потужності перешкоджають спрацюванню. Захист також не спрацьовує при ушкодженнях поза кільцем на інших приєднаннях підстанції А, тому що струм ушкодження при цьому по кільцю не проходить. Тільки при коротких замиканнях на лініях, що захищаються, АБ і АВ органи напрямку потужності захистів А2 і А5 спрацьовують і захисти зможуть подіяти на відключення. Це дає можливість виконати їх діючими без витримки часу й принципово відмовитися від вимірювальних органів струму.

При короткому замиканні на головній ділянці АБ поблизу шин підстанції А, наприклад у точці K_1 , струм к. з. у точку ушкодження в основному проходить через вимикач Q1 (струм $I_{k''}$). Тільки невелика частка струму к. з., рівна I_k'' , замикається по кільцю. При наближенні точки ушкодження K_1 до шин А струм I_k'' зменшується й при деякій відстані між точкою K_1 і підстанцією А стає менше струму, необхідного для «закочування захисту А2. Захист А2 спрацьовує тільки після відключення захистом А1 вимикача Q1, коли весь струм ушкодження проходить по кільцю. Таким чином, при ушкодженні в межах деякої зони, розташованої в розглянутому випадку коло шин А, захист А2 діє завжди тільки після спрацювання захисту А1 незалежно від співвідношення їхніх витримок часу. Така почергова дія захистів, як уже відомо, називається каскадним, а зазначена зона - зоною каскадної дії. У

загальному випадку ця зона може поширюватися на лінії, суміжні з головними ділянками.

При каскадній дії захистів час відключення ушкодженої ділянки збільшується. Крім того, може відбуватися неправильна робота захистів А4 і А6, органи напрямку потужності яких при короткому замиканні в точці К₁ перебувають у стані після спрацьовування. Неправильна дія може відбутися в тому випадку, якщо їхні струми спрацьовування $I_{с.34}^{III}$ і $I_{с.36}^{III}$ менше струму I_k ", а струм спрацьовування $I_{с.32}^{III}$ захисту А2 — більше I_k ". Тому бажано скорочення зони каскадної дії.

На Рис. 4.5, б показана кільцева мережа із двома джерелами живлення. У такій мережі зустрічно-східчастий принцип вибору витримки часу не забезпечує селективної дії захисту. Це важко здійснити й у кільцевій мережі з одним джерелом живлення, якщо є діагональні зв'язки, що не проходять через шини джерела живлення (зв'язок між шинами Б і Г, показаний штриховою лінією).

Вибір струму спрацьовування. Струм спрацьовування максимального струмового направленої захисту, як і розглянутого вище максимального струмового (ненаправленої) захисту, повинен задовольняти умові:

$$I_{с.3}^{III} \geq (k_{відстр}^{III} k_{сзп} / k_{п}) I_{роб.мах}. \quad (4.3)$$

Однак на відміну від максимального струмового захисту при визначенні максимального робочого струму $I_{роб.мах}$ можна враховувати тільки максимальний режим, що відповідає напрямку потужності від шин у лінію. При цьому може виявитися, що в режимі передачі потужності від лінії до шин вимірювальний орган струму спрацює, однак захист у цілому не подіє через орган напрямку потужності. Як ми вже відзначали, у таких умовах перебувають захисти А2 і А5 (Рис. 4.5, а), встановлені із прийомної сторони головних ділянок кільцевої мережі.

При зниженні струму спрацьовування захисту необхідно враховувати можливість порушення ланцюгів напруги й внаслідок цього переорієнтацію органа напрямку потужності. Тому в схему захисту включається пристрій контролю справності ланцюгів напруги, якщо струм спрацьовування вимірювального органа струму не відстроєний від максимального навантаження при його напрямку до шин. Пристрій контролю справності ланцюгів напруги повинен при спрацьовуванні виводити захист із дії. Якщо режим максимального навантаження при її напрямку до шин проявляється рідко, то пристрій контролю справності ланцюгів напруги може діяти на сигнал. При цьому струм спрацьовування $I_{с.3}^{III}$ повинен бути більше робочого струму при нормальній роботі не залежно від напрямку потужності:

$$I_{с.3}^{III} \geq (k_{відстр}^{III} / k_{п}) I_{роб} \quad (4.4)$$

У мережах із глухозаземленими нейтралями при короткому замиканні на землю можливі спрацьовування реле напрямку потужності, включених на

струми неущкоджених фаз при напрямку потужності к. з. до шин [10, 60]. Тому при виборі струму спрацьовування захисту крім двох умов (4.3) і (4.4) повинна виконуватися третя, по якій $I_{c.3}^{III}$ повинен бути більше максимального струму неущкоджених фаз:

$$I_{c.3}^{III} \geq k_{\text{відстр}}^{III} I_{нy\text{max}}. \quad (4.5)$$

Умова (4.5) не враховується, якщо захист виконується так, що при коротких замиканнях на землю вона автоматично виводиться з дії.

Як ми вже відзначали, можливе порушення селективності захисту в режимі каскадної дії. Щоб уникнути цього при виборі струму спрацьовування необхідно погоджувати чутливість захистів суміжних ділянок. Це узгодження, як і вибір витримок часу, проводиться тільки для захистів, що входять в одну групу, наприклад А2, А4 і А6 (Рис. 4.5, а), причому захист, що має меншу витримку часу, повинен мати й менший струм спрацьовування, тобто $I_{c.32}^{III} < I_{c.34}^{III} < I_{c.36}^{III}$. У загальному випадку в межах кожної групи захистів повинна виконуватися умова

$$I_{c.3\ n}^{III} \geq k_{\text{відстр}}^{III} I_{c.3(n-1)}^{III}. \quad (4.6)$$

Таким чином, струми спрацьовування, як і витримки часу, повинні задовольняти зустрічно-східчастому принципу й вибиратися за умовою, що дає більше значення струму.

Мертва зона струмового направленої захисту. Як ми вже відзначали, дія реле напрямку потужності визначається кутом зміщення фаз φ_p . Однак для спрацьовування реле необхідно, щоб прикладена до нього напруга була не менше $U_{c.p.min}$. Відповідним включенням реле це забезпечується при всіх несиметричних коротких замиканнях у будь-якій точці захищеної лінії. Мертва зона практично утвориться тільки при металевих трифазних коротких замиканнях на невеликій ділянці $l_{м.з.}$ розташованих в місці включення реле.

При короткому замиканні наприкінці мертвої зони залишкове міжфазна напруга в місці включення реле

$$U_{\text{зал}}^{(3)} = U_p = \sqrt{3} I_{\text{к}}^{(3)} Z_{\text{лпит}} I_{м.з.}/K_U,$$

де $Z_{\text{лпит}}$ — повний питомий електричний опір прямої послідовності лінії, Ом/км.

Для кута максимальної чутливості $U_p = U_{c.p.min}$. У загальному випадку кут φ_p відрізняється від кута максимальної чутливості, тому при трифазному короткому замиканні наприкінці мертвої зони виконується умова

$U_p = U_{c.p.min} / \cos(\varphi_p + \alpha)$. З врахуванням цього зі співвідношення для визначення $U_{\text{зал}}^{(3)}$ виходить вираз для мертвої зони реле напрямку потужності:

$$I_{м.з} = K_U U_{с.р. min} / \sqrt{3} I^{(3)}_к Z_{1пит} \cos(\varphi_p + \alpha). \quad (4.7)$$

Вираз (4.7) справедливий при великих кратностях струму $I^{(3)}_к$, при яких $U_{с.р. min}$ залишається практично постійною. У загальному випадку довжина $l_{м.з}$ визначається виходячи з необхідності мати мінімальну потужність спрацьовування $S_{с.р. min}$. З огляду на, те що $S_{с.р. min} = U_{с.р. min} I^{(3)}_к / K_1$, можна одержати з (4.7)

$$l_{м.з} = K_U K_1 S_{с.р. min} / (\sqrt{3} I^{(3)}_к Z_{1пит} (I^{(3)}_к)^2 \cos(\varphi_p + \alpha)). \quad (4.8)$$

Наявність мертвої зони є недоліком направленої захисту, хоча довжина цієї зони, як правило, невелика.

Струмовий направлений захист нульової послідовності. Він відрізняється від розглянутого ненаправленої струмового захисту нульової послідовності наявністю органа напрямку потужності, що включається на складові нульової послідовності U_0 і I_0 . Параметри захисту вибирають аналогічно, як параметри ненаправленої струмового захисту нульової послідовності. Наявність органа напрямку потужності дозволяє враховувати тільки режими, при яких напрямок потужності відповідає к. з. у зонах, що захищаються. Захист не має мертвої зони.

4.2 СХЕМИ Й ЗАГАЛЬНА ОЦІНКА СТРУМОВИХ НАПРАВЛЕНИХ ЗАХИСТІВ І СТРУМОВИХ НАПРАВЛЕНИХ ЗАХИСТІВ НУЛЬОВОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ

Загальна оцінка струмового направленої захисту. У загальному випадку струмовий направлений захист являє собою струмовий ненаправлений захист, постачаний органом напрямку потужності, тому залежно від призначення й пропонованих до нього вимог в основу схеми струмового направленої захисту можна покласти кожен з розглянутих вище схем струмового захисту.

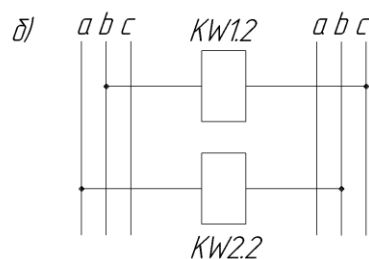
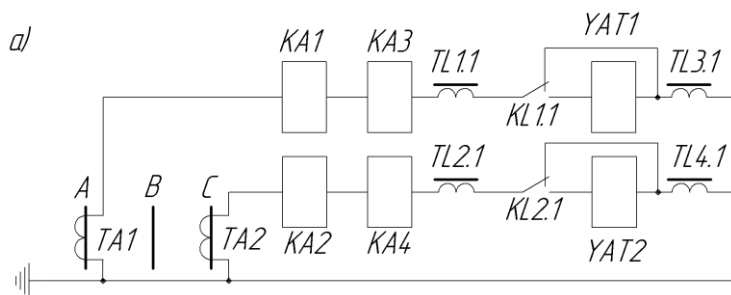
У розподільчих мережах напругою до 35 кВ захист виконується двофазним і є основним захистом від всіх коротких замикань. У мережах із глухозаземленими нейтралями він використовується як захист від багатозаземлених коротких замикань.

Схеми захисту можуть бути на постійному й змінному оперативному струмі. При цьому вимірювальні реле струму пофазно підводять оперативний струм до контактів реле напрямку потужності. Цим запобігається неправильне спрацьовування захисту, обумовлене поведінням реле напрямку потужності, включеного на струм неушкодженої фази.

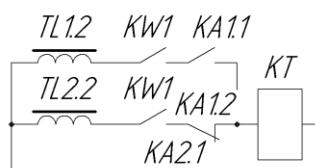
Орган напрямку потужності може бути загальним для всіх або для частини ступенів. Наявність органа напрямку потужності дозволяє при виборі струмів спрацьовування враховувати тільки режими, при яких потужність направлена від шин у лінію, і реле напрямку потужності дозволяє діяти захисту

на відключення. У цьому випадку чутливість струмових відсічок підвищується, якщо при відсутності органа напрямку потужності розрахунковою умовою вибору струму спрацьовування є відстройка від максимального струму, що проходить по захищеній ділянці, що, при напрямку потужності к. з. до шин. Струмовий направлений захист зі східчастою характеристикою витримки часу забезпечує селективне відключення ушкодженої ділянки в радіальних мережах з декількома джерелами живлення й у кільцевих мережах з одним джерелом живлення. Однак через зустрічно-східчастий вибір витримки часу третього ступеня в ряді випадків час відключення ушкодженої ділянки, звичайно розташованого поблизу джерела живлення, виходить значним. Це обмежує застосування третього ступеня як окремих захист. Чутливість захисту визначається не тільки вимірювальним реле струму, але й органом напрямку потужності. При цьому захист відмовляє в дії при трифазному короткому замиканні в мертвій зоні. Теоретично можливі також її неправильні дії при коротких замиканнях за трансформатором з з'єднанням обмоток Y/Δ. Тому в більшості випадків струмовий направлений захист у якості основного застосовується лише в мережах напругою 35 кВ і нижче. У мережах з більш високою напругою він використовується в основному як резервний. Його чутливість визначається так само, як і чутливість ненаправленого струмового захисту.

Загальна оцінка струмового направленої захисту нульової послідовності. У мережах із глухозаземленими нейтралями найбільш поширеними видами ушкодження є короткі замикання на землю. Для їхнього виявлення й відключення можуть бути використані наявні на лініях струмові захисти від міжфазних к. з. Однак, як відзначалося вище, для цих цілей бажано мати окремий струмовий захист нульової послідовності, що має меншу витримку часу й підвищену чутливість, чим струмовий захист із включенням вимірювальних органів на повні струми фаз. Це повністю відноситься й до струмового направленої захисту нульової послідовності. Тому він широко використовується як основний в мережах напругою 110 кВ від коротких замикань на землі.



в/



г/

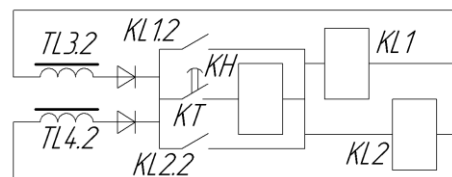


Рис. 4.6. Максимальний струмовий направлений захист на змінному оперативному струмі

Схеми струмового направленої захисту. Схема максимального струмового направленої захисту (третій ступінь). На Рис. 4.6 наведені схеми ланцюгів максимального струмового направленої захисту на змінному оперативному струмі з дешунтуванням електромагнітів відключення вимикача. У захисті використовуються проміжні реле KL1 і KL2 типу РП-341, реле часу КТ типу РВМ-12 і два реле напрямку потужності KW1 і KW2 типу РВМ, включені за 90-градусною схемою (Рис. 4.6, а, б). Вимірювальним органом є реле струму КА1 і КА2 типу РТ-40. Пуск реле часу здійснюється пофазно послідовно з'єднаними контактами реле напрямку потужності й відповідного реле струму. Схема керування реле часу виконана таким чином, що при будь-яких багатофазних коротких замиканнях реле підключається тільки до одного із проміжних трансформаторів струму TL1, що насичуються, або TL2 (Рис. 4.6, в). Після закінчення встановленої витримки часу реле КТ спрацьовує, замикаючи вторинні ланцюги проміжних реле KL1 і KL2 (Рис. 4.6, г). Контакти KL1.1 і KL2.1 дешунтують електромагніти YAT1 і YAT2, відключаючи вимикач. При направленні потужності к. з. до шин реле напрямку потужності не діє, тому реле часу, а отже, і проміжні реле не спрацьовують і захист не відключає вимикач.

Схема двоступінчастого направленої захисту з автоматичною перебудовою параметрів спрацьовування третього ступеня. На сьогоднішній день сільські розподільні мережі все частіше виконуються секціонованими з мережним резервуванням (Рис. 4.7, а). У нормальному режимі всі споживачі енергії лінії Л1 підключені до джерела живлення а споживачі лінії Л2 одержують живлення від джерела ДЖ2. Перша лінія секціонована вимикачем Q2, а друга - вимикачем Q4. Вимикач Q3 обладнаний пристроєм АВР (ПАВР) і в нормальному режимі перебуває у відключеному стані.

У режимі мережного резервування, коли вимикач Q3 включений, а вимикач однієї з ліній, наприклад Q1, відключений, конфігурація мережі змінюється, хоча зберігається одностороннє живлення. На лініях з одностороннім живленням, як відомо, вимогам селективності задовольняють струмові захисти, у тому числі й максимальний струмовий. Однак вибрати параметри максимального струмового захисту, встановленого на вимикачі Q2 (Q4), так, щоб він діяв селективно при роботі мережі за нормальною схемою й у випадку мережного резервування, неможливо. Це пояснюється тим, що відстань вимикача й захисту від джерела живлення змінюється зі зміною схеми електропостачання.

Селективної дії захисту можна досягти, якщо автоматично змінювати його параметри зі зміною режиму роботи мережі. Напрямки струму через захист у нормальному режимі (показано стрілкою) і в режимі мережного резервування (показано штриховою стрілкою) різні, тому для автоматичної перебудови захисту можна використати реле напрямку потужності. Їхній

недолік— наявність мертвої зони. Більш досконалий для такої мережі напівпровідниковий струмовий направлений захист двосторонньої дії типу ЛТЗ [61].

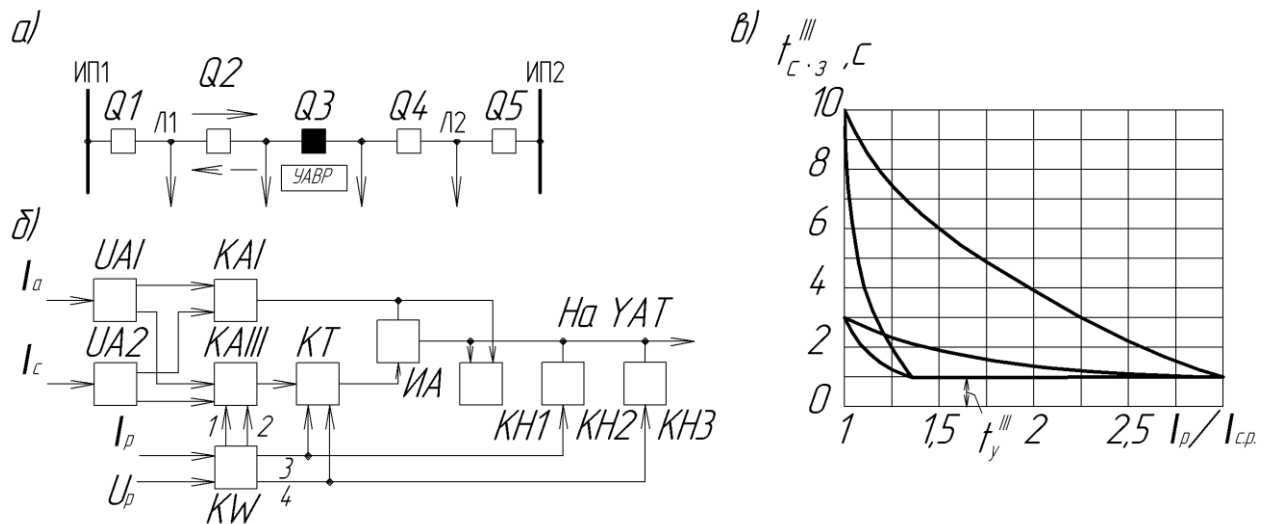


Рис. 4.7. Напівпровідниковий максимальний струмовий направлений захист секціонованої мережі з резервуванням ДЖ1

Схема містить (Рис. 4.7, б) вторинні вимірювальні перетворювачі струму $UA1$ і $UA2$; вимірювальні органи релейної дії: струму першого KAI і третього $KAIИ$ ступенів, напрямку потужності KW , витримки часу KT ; вихідний (виконавчий) елемент $ИА$ й елементи $КН1$ - $КН3$ сигналізації про спрацювання першого та третього (залежно від напрямку потужності) ступенів захисту.

В нормальному режимі роботи орган напрямку потужності перебуває у положенні після спрацювання й по своїх вихідних ланцюгах 1 і 3 впливає на вимірювальний орган $KAIИ$, елемент витримки часу KT і елемент сигналізації $КН2$. При цьому третій ступінь захисту підготовлений для спрацювання з уставками, що відповідають електропостачанню за нормальною схемою (вимикачі $Q1$ і $Q2$ включені, вимикач $Q3$ відключений). Відключення вимикача $Q1$ супроводжується включенням вимикача $Q3$ і зміною напрямку переданої потужності. У цьому випадку орган напрямку потужності перебуває в положенні до спрацювання і його вихідні ланцюги 2 і 4 підготовлюють третій ступінь захисту до спрацювання з меншими уставками, що забезпечують селективність при мережному резервуванні. Орган напрямку потужності змінює уставки третього ступеня до виникнення ушкодження, тому захист не має мертвої зони. Зона спрацювання органа напрямку потужності $—5\pi/12 < \varphi_p < \pi - 7\pi/12$.

Характеристики витримки часу третього ступеня показані на Рис. 4.7, в. Уставки першого ступеня не перестроюються. Його витримка часу становить $t_{c.з}^I = 0,3$ с.