

**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 № 2 - Принцип дії та особливості виконання електромеханічних реле

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. Основні органи струмових захистів
2. Перший ступінь струмового захисту - струмова відсічка без витримки часу
3. Другий ступінь струмового захисту - струмова відсічка з витримкою часу
4. Третій ступінь струмового захисту - максимальний струмовий захист

Рекомендована література:

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/>

ПРИНЦИП ДІЇ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ РЕЛЕ

2.1 ОСНОВНІ ОРГАНИ СТРУМОВИХ ЗАХИСТІВ

У загальному випадку струмові захисти містять три щаблі, є відносно селективними й можуть здійснювати як ближнє, так і дальнє резервування. Швидкодіючий перший ступінь захисту - струмова відсічка без витримки часу - має тільки вимірювальний орган, а другий і третій щаблі - струмову відсічку з витримкою часу й максимальний струмовий захист - містять два органи: вимірювальний і витримки часу. Другий ступінь виконують із незалежною від струму витримкою часу, а третій - з незалежною та з залежною. Функції вимірювального органа виконують реле струму КА, що входять у вимірювальну частину схеми. Вони реагують на ушкодження або порушення нормального режиму роботи й вводять у дію орган витримки часу, якщо він є. Для підвищення чутливості захисту іноді використовують комбінований вимірювальний орган, у якому поряд з реле струму є реле напруги КВ. Як орган витримки часу можна використати окреме реле часу КТ. Поряд із цим в одному реле струму можуть бути об'єднані обидва органи захисту.

У схемах струмових захистів є також допоміжні реле, наприклад проміжні КЛ і вказівні КН. Разом з реле часу вони утворюють логічну частину схеми. Проміжне реле полегшує роботу контактів основних органів захисту й може запобігати дії струмової відсічки без витримки часу при роботі трубчастих розрядників. Вказівне реле дозволяє контролювати спрацювання захисту. Як приклад на Рис. 2.1 наведена в однофазному зображенні принципова сполучена схема максимального струмового захисту на постійному оперативному струмі. Захист діє на електромагніт відключення УАТ привода вимикача Q.

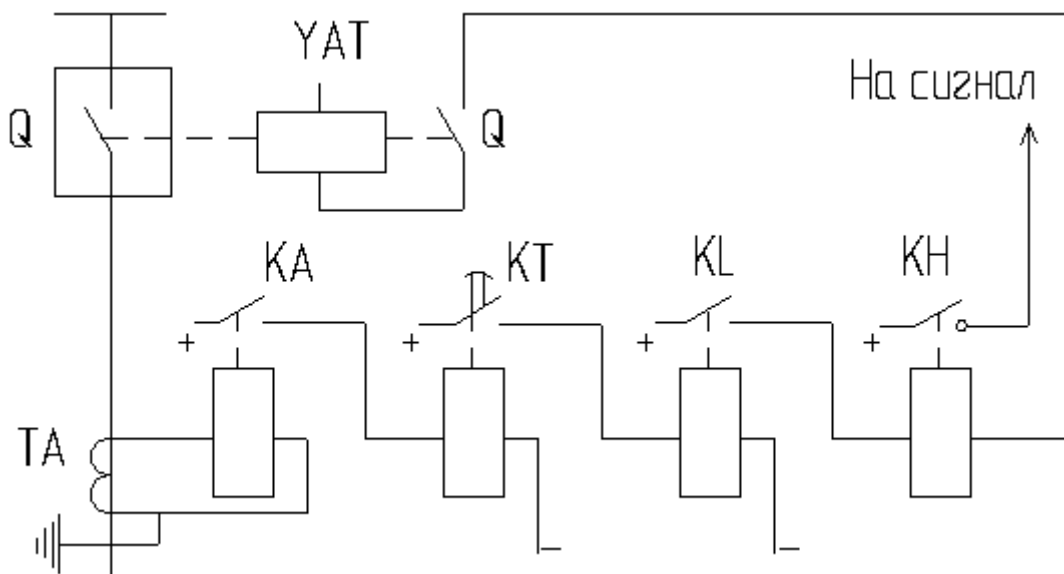


Рис. 2.1 Схема максимального струмового захисту на постійному оперативному струмі.

2.2 ПЕРШИЙ СТУПІНЬ СТРУМОВОГО ЗАХИСТУ - СТРУМОВА ВІДСІЧКА БЕЗ ВИТРИМКИ ЧАСУ

Селективна дія першого ступеня струмового захисту (надалі перший ступінь будемо називати струмовою відсічкою без витримки часу або просто відсічкою) досягається тим, що її струм спрацьовування приймається більшим максимального струму короткого замикання, що проходить через захист при ушкодженні поза елементом, який захищає відсічка. Дія захисту при короткому замиканні забезпечується завдяки тому, що струм к. з. у мережі, а отже, і в захисті збільшується по мірі наближення місця короткого замикання до джерела живлення (Рис. 2.2), причому криві зміни струму короткого замикання мають різну крутість залежно від режиму роботи системи й виду к. з. (криві 1 і 2 на Рис. 2.2, а відповідно, для максимального й мінімального режимів).

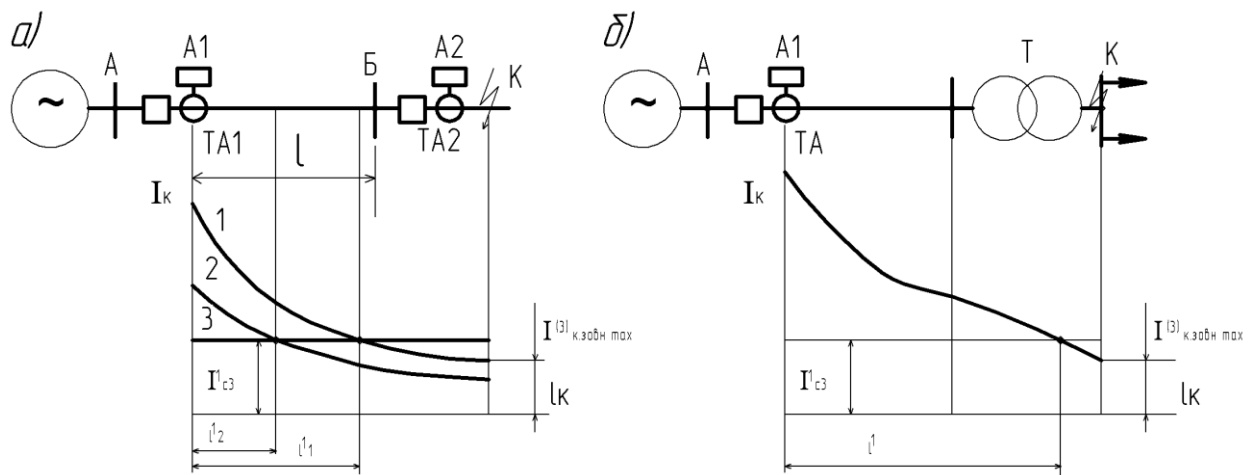


Рис. 2.2. Вибір струму спрацьовування й визначення зони, що захищає струмова відсічка без витримки часу

Для схем, із включенням реле на повні струми фаз, розрахунковим, при виборі струму спрацьовування захисту А1, звичайно є трифазне коротке замикання на шинах підстанції Б у точці К у максимальному режимі. При цьому $I_{с.з.}^I = k_{\text{відстр}}^I I_{\text{к.зовн.мах}}^{(3)}$ і струм спрацьовування реле

$$I_{с.р.}^I = k_{\text{відстр}}^I k_{\text{сх}}^{(3)} I_{\text{к. зовн.мах}}^{(3)} / K_I \quad (2.1)$$

Якщо струмова відсічка без витримки часу при зовнішніх коротких замиканнях не спрацьовує, коефіцієнт повернення k_p при виборі струму $I_{с.з.}^I$ не враховується. При визначенні $I_{с.з.}^I$ необхідно мати на увазі, що відсічка не має витримки часу. Тому у виразі (2.1) струм $I_{\text{к.зовн.мах}}^{(3)}$ приймається рівним початковому ($t=0$) діючому значенню періодичної складової струму зовнішнього короткого замикання. Вплив аперіодичної складової враховується коефіцієнтом відстройки $k_{\text{відстр}}^I$. Струм спрацьовування не залежить від режиму роботи й місця ушкодження. Відсічка спрацює, коли струм, що проходить по лінії, яка захищається АБ (Рис. 2.2, а), більше або дорівнює струму спрацьовування захисту, тобто $I_k \geq I_{с.з.}^I$. Ця умова виконується при короткому

замиканні в межах ділянки I_1^I (максимальний режим) або ділянки I_2^I (мінімальний режим).

Таким чином ділянки I_1^I і I_2^I є зонами, що захищає відсічка. Вони визначаються точками перетинання кривих зміни струму к. з. 1 і 2 із прямою 3, що зображує струм $I_{с.з.}^I$; отже, відсічка захищає не всю лінію, а тільки деяку її частину. Як видно із зазначених графіків, зона, яка захищається, тим більше, чим менше струм спрацьовування й чим більше крутість кривої зміни струму к. з., що визначається режимом роботи й видом короткого замикання. Тому, залежно від режиму роботи й виду короткого замикання зона, що захищається відсічкою змінюється. Чутливість захисту визначається довжиною зони I , що захищається, і коефіцієнтом чутливості $k_{ч.}^I$. При к. з. у місця установки захисту в мінімальному режимі $k_{ч.}^I \geq 2$.

Для збільшення зони, що захищається і підвищення чутливості захисту коефіцієнт відстройки $k_{відстр.}^I$ вибирається можливо меншим. Він визначається погрішністю в розрахунку струму к. з., погрішністю реле й наявністю аперіодичної складової струму короткого замикання. Для захисту з електромагнітним реле типу РТ-40, при наявності вихідного проміжного реле приймається $k_{відстр.}^I = 1,2 \dots 1,3$; при використанні відсічок індукційних реле струму РТ-80 $k_{відстр.}^I = 1,5 \dots 1,6$, а для відсічок із реле прямої дії РТМ $k_{відстр.}^I = 1,8 \dots 2,0$.

У розглянутому випадку зона, що захищається, охоплює тільки частину лінії й струмову відсічку без витримки часу не можна використати в якості єдиного або основного захисту. Однак, у деяких окремих випадках, наприклад, на радіальних лініях, що живлять один трансформатор (Рис. 2.2, б), за допомогою струмової відсічки можна захистити всю лінію, якщо допустити її спрацьовування при ушкодженні у трансформаторі. У цьому випадку це є доцільним. Струм спрацьовування при цьому вибирається по максимальному струму короткого замикання за трансформатором (точка К). Аналогічно можна вибирати струм спрацьовування й при наявності декількох трансформаторів, однак, у цьому випадку виникає необхідність автоматично відключати ушкоджений трансформатор з наступним включенням лінії пристроєм АПВ з метою відновлення живлення споживачів.

Струмові відсічки використовують також на лініях із двостороннім живленням. У цьому випадку вони встановлюються по обидва боки лінії, що захищається (захист А1 і А2 на Рис. 2.3, а). Криві 1 і 2 (Рис. 2.3, б) показують зміну максимальних струмів к. з. відповідно від джерел А и Б при переміщенні короткого замикання уздовж лінії, що захищається. Струми спрацьовування відсічок повинні бути обрані таким чином, щоб при зовнішніх коротких замиканнях (точки K_A і K_B) захист не діяв.

При ушкодженні в точці K_B по лінії, що захищається, і через місця установки захистів від джерела А проходить максимальний струм $I_{к.з.овн.мах. А.}^{(3)}$. При цьому захист А1, А2 обох сторін лінії не повинен спрацьовувати, тобто $I_{с. з1}^I = I_{с. з2}^I > I_{к.з.овн.мах.}^{(3)}$

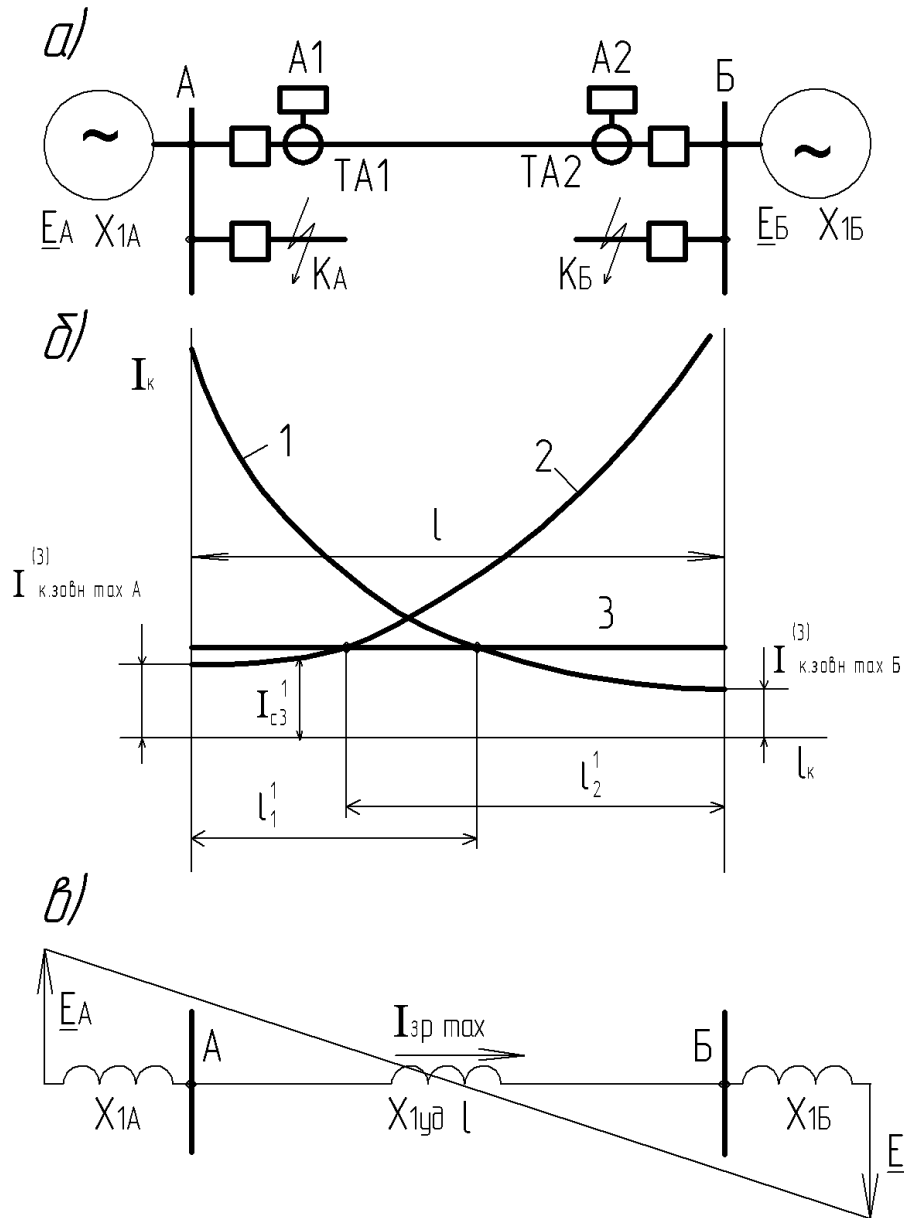


Рис. 2.3. Вибір струму спрацьовування струмових відсічків без витримки часу на лінії із двостороннім живленням

При ушкодженні в точці K_A по захищеній лінії і через місце установки захисту від джерела Б проходить максимальний струм $I_{к.зовн.махБ}^{(3)}$. При цьому захисти також не повинні діяти, тобто $I_{с.3}^I = I_{с.31}^I = I_{с.32}^I > I_{к.зовн.махБ}^{(3)}$. Із двох значень вибирається більший струм спрацьовування, що є першою умовою його вибору. У даному випадку (Рис. 2.3, б)

$$I_{с.3}^I = I_{с.31}^I = I_{с.32}^I \geq I_{к.зовн.махБ}^{(3)} \quad (2.2)$$

В експлуатації можливі випадки хитань генераторів джерела А щодо генераторів джерела Б і виходу їх з синхронізму. При цьому по лінії АБ можуть проходити більші зрівняльні струми. Відсічки в цьому випадку не повинні діяти, тому

$$I_{с.3}^I = I_{с.31}^I = I_{с.32}^I \geq k_{відстр}^I I_{зр.мах} \quad (2.3)$$

Рівняння (2.3) - це друга умова вибору струму спрацьовування відсічень на лініях із двостороннім живленням. Визначальною є умова, що дає більше значення струму спрацьовування.

Максимальний зрівняльний струм виникає, коли вектори еквівалентних ЕРС \underline{E}_A й \underline{E}_B відповідно джерел А і Б зміщені на кут π (Рис. 2.3, в). При цьому, приймаючи $E_A = E_B = E$, струм $I_{зр\ max}$ визначають по виразу

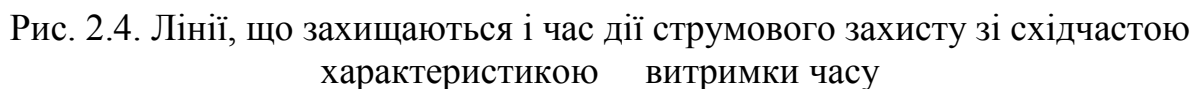
$$I_{зр\ max} = 2E (X_l + X_{lуд} + X_{lБ.})$$

При визначенні еквівалентних ЕРС \underline{E}_A й \underline{E}_B і наведених до шин джерел еквівалентних опорів прямої послідовності X_l і $X_{lБ.}$ систем генератори вводяться в розрахункову схему перехідними значеннями E'_d і X'_d . При розрахунку струму, що виникає під час несинхронного АПВ, використовуються надперехідні величини E''_d і X''_d . Зони відсічок, що захищають l_1^1 і l_2^1 , визначаються абсцисами точок перетинання кривих 1 і 2 з прямою 3, що відповідає току спрацьовування відсічок. У розглянутому випадку (Рис. 2.3, б) зони, що захищаються перекривають одна іншу. При цьому $l_1^1 + l_2^1 > l$ і ушкодження в середній частині лінії на довжині $(l_1^1 + l_2^1) - l$ відключаються відсічками із двох сторін. При коротких замиканнях на лінії поза цією зоною спрацьовує тільки відсічка А1 або тільки відсічка А2. Із протилежної сторони лінія відключається іншим захистом.

У деяких випадках при наявності додаткової лінії зв'язку між джерелами А і Б відключення лінії, що захищається, тільки відсічками А1 або А2 може призвести до збільшення струму, що проходить по лінії. При цьому відсічка може відключити лінію з іншої сторони. Така почергова дія захистів називається каскадною.

2.3 ДРУГИЙ СТУПІНЬ СТРУМОВОГО ЗАХИСТУ - СТРУМОВА ВІДСІЧКА З ВИТРИМКОЮ ЧАСУ

Основний недолік струмової відсічки без витримки часу полягає в тому, що вона захищає тільки частину лінії. Ділянка наприкінці лінії за межами зони ІІ залишається незахищеною. На Рис. 2.4 показана схема мережі із двома послідовно з'єднаними ділянками АБ і БВ, для захисту яких встановлені струмові відсічки без витримки часу А1 і А2 зі струмами спрацьовування A^{I1} і A^{II2} , обраними відповідно до (2.2). Відсічки мають захищені зони, відповідно l_{A1}^1 і l_{A2}^1 , які охоплюють тільки частини ліній. Ділянки l' і l'' наприкінці ліній за межами зон l_{A1}^1 і l_{A2}^1 залишаються незахищеними. У зв'язку з цим виникає необхідність мати другий ступінь струмового захисту. Разом з першим щаблем він повинен забезпечити захист всієї лінії й шини прийомної підстанції.


$$I_{c.3A1}^{II} = k_{\text{відстр}}^{II} I_{c.3A2}^I, \quad (2.4)$$
$$\text{де } k^{\text{II}}_{\text{відстр}} = 1,1 \dots 1,05$$

При такому виборі струму спрацьовування $I_{с.зА1}^I$ і витримки часу $t_{А1}^{II}$ у зону дії другого ступеня захисту лінії АБ входить ділянка I' і шини прийомної підстанції. Крім того, вона забезпечує далеке резервування у випадку відмови відсічки А'2, при коротких замиканнях на лінії БВ поблизу шин підстанції Б і ближнє резервування у випадку відмови А'1 першого ступеня захисту лінії АБ. Якщо витримка часу другого ступеня виявляється прийнятною, то перший ступінь може бути відсутній. У загальному випадку від шин підстанції Б відходять кілька ліній і, крім того, до шин можуть бути підключені понижуючі трансформатори. При цьому другий ступінь захисту А''1 на підстанції А повинен бути відстроєний за часом від відсічок всіх ліній, що відходять, і від швидкодіючих захистів трансформаторів, а його струм спрацьовування $I_{с.зА1}^{II}$ повинен бути обраний по найбільшому зі струмів к.з., що проходять по лінії АБ при ушкодженні зон відсічок, захищаємих наприкінці ліній, і при короткому замиканні на шинах нижчої напруги трансформаторів. Чутливість другого ступеня перевіряється по мінімальному струму ушкодження при металевому к.з. наприкінці захищаємої лінії. При цьому коефіцієнт чутливості повинен бути $k_{ч}^{II} \geq 1,3 \dots 1,5$. Струмова відсічка з витримкою часу при відповідному виборі її параметрів зберігає селективність і на лініях з двостороннім живленням.

2.4 ТРЕТІЙ СТУПІНЬ СТРУМОВОГО ЗАХИСТУ - МАКСИМАЛЬНИЙ СТРУМОВИЙ ЗАХИСТ

Вибір витримки часу. Третій ступінь струмового захисту, який прийнято називати максимальним струмовим захистом, може виконуватися з незалежною та з обмежено залежною характеристиками часу спрацьовування. І в тому, і в іншому випадку селективність захисту можна забезпечити, якщо час спрацьовування t_1^{III} захисту А1 (Рис.2.5), розташованого коло джерела живлення, при короткому замиканні в точці К₂ на суміжній ділянці в зоні дії захисту А2 (лінія БВ), більше максимальної витримки часу t_2^{III} захисту А2 на ступінь селективності $\Delta t = 0,3 \dots 0,5$ с. Якщо для захисту використовують реле РТВ, то ступінь селективності збільшують до 1с.

Витримки часу у максимальних струмових захистів вибирають по східчастому принципу: починають вибір з найбільш віддаленого від джерела живлення елемента й по мірі наближення до джерела живлення збільшують її таким чином, що захист наступної ділянки має витримку часу на ступінь селективності більше, ніж максимальна витримка часу захисту попередньої ділянки (Рис. 2.6):

$$t_3^{III} = t_4^{III} + \Delta t; \quad t_2^{III} = t_3^{III} + \Delta t; \quad t_1^{III} = t_2^{III} + \Delta t.$$

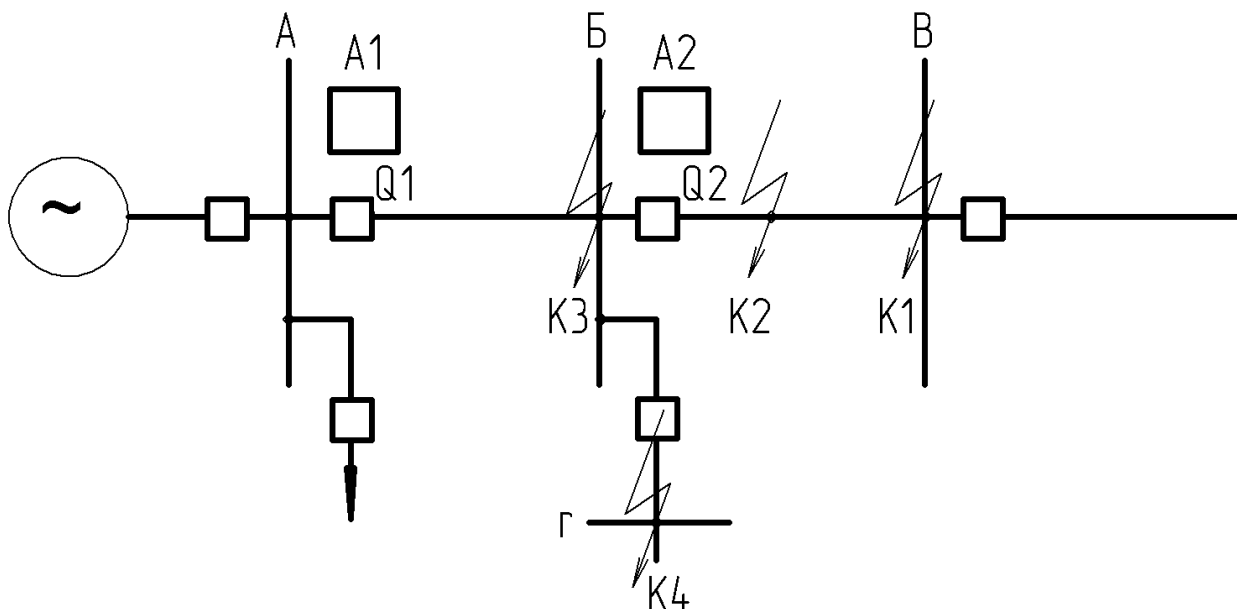


Рис. 2.5. Розміщення максимальних струмових захистів у радіальній мережі з однобічним живленням

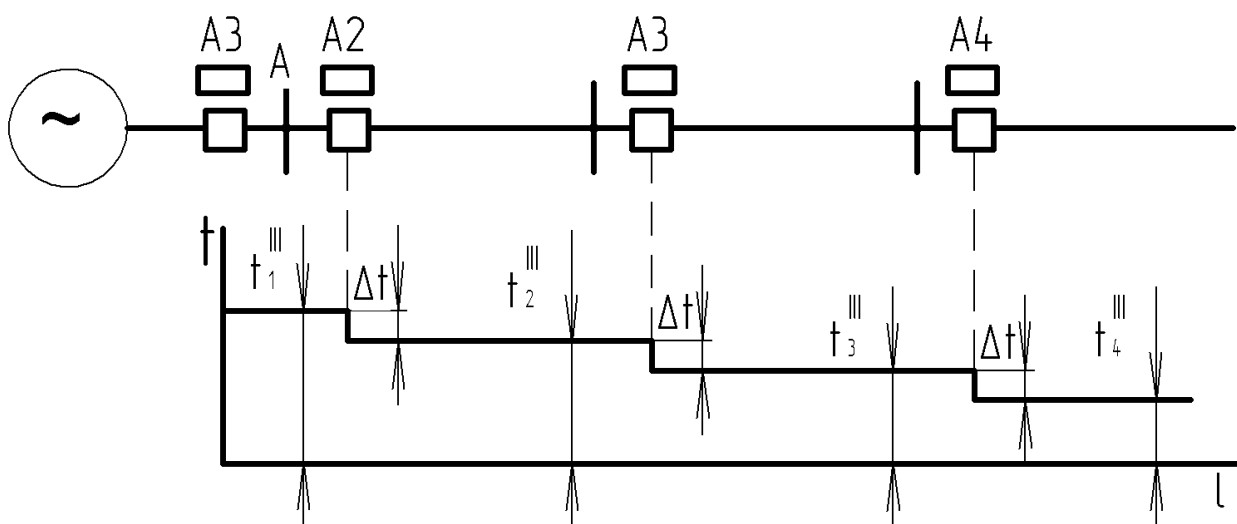


Рис. 2.6. Узгодження характеристик максимальних струмових захистів з незалежною витримкою часу

Витримки часу в максимальних струмових захистів з обмежено залежною характеристикою повинні вибиратися для певного струму. З Рис. 2.7 очевидно, що найбільший струм к.з., а отже, і найбільший струм у реле захисту A1 і A2 при ушкодженні в зоні дії захисту A2 проходять при короткому замиканні поблизу місця установки захисту A2 (точка K_2), тобто коло шин підстанції Б. При віддаленні точки короткого замикання в напрямку підстанції В струм ушкодження зменшується, а час спрацьовування захистів A1 і A2 збільшується. Для двох реле одного типу з різними уставками часу різниця Δt витримок часу при зміні струму не залишається постійною; вона тим більше, чим менше струм у реле (Рис. 2.7, а). Тому необхідно, щоб умова селективності виконувалася для струму короткого замикання $I_{K2}^{(3)}$ у точці K_2 .

Характеристика захисту A1 по заданій характеристиці захисту A2 вибирають у такий спосіб: будують характеристику витримок часу захисту A2

залежно від абсолютного значення струму в обмотці реле; по побудованій характеристиці визначають час спрацьовування захисту А2 при струму к. з. $I_{к2}^{(3)}$ у розрахунковій точці (точка К₂); додавши до цього часу ступінь селективності, визначають час спрацьовування захисту А1 і точку а (Рис. 2.7, а), що належить характеристиці захисту; по струму спрацьовування і точці а вибирають характеристику реле по типових характеристиках.

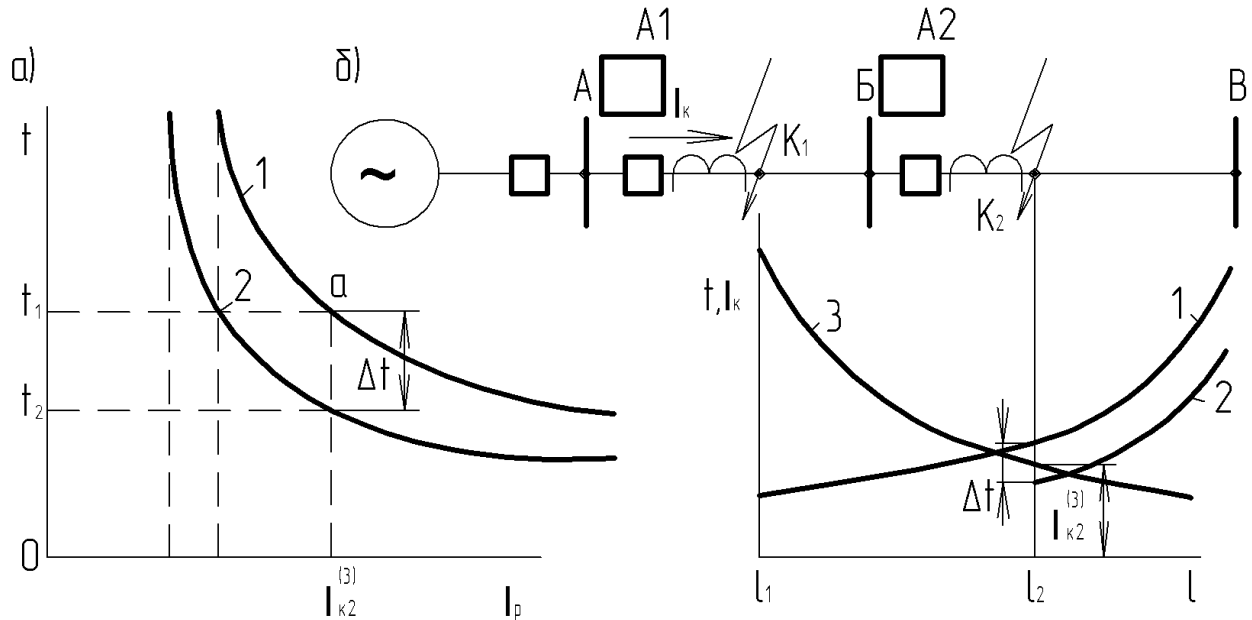


Рис. 2.7. Характеристики максимальних струмових захистів з обмежено залежною витримкою часу

На Рис. 2.7, б показана зміна струму ушкодження при переміщенні точки короткого замикання від підстанції А до В (крива 3) і побудовані характеристики 1, 2 захистів А1 і А2 відповідно. Із графіків видно основну перевагу захисту із залежною характеристикою - відключення близьких ушкоджень із малою витримкою часу при забезпеченні селективності у випадках короткого замикання на сусідній лінії. Достоїнством розглянутого захисту є також відсутність окремих реле часу (що спрощує схему) і зручне узгодження з пусковою характеристикою електродвигунів. Поряд із цим вона має істотні недоліки, яких немає в максимального захисту з незалежною характеристикою витримки часу: більші витримки часу в мінімальних (точніше, не в максимальних) режимах роботи й при дії захисту в якості резервного; залежність уставки часу спрацьовування від максимального струму к. з., що вимагає змінювати уставки з розвитком системи електропостачання й тримати їх увесь час під спостереженням.

Вибір струму спрацьовування. При виборі струму спрацьовування захисту $I_{с.з}^{III}$ необхідно виходити з умов повернення вимірювального органа в початкове положення після його спрацьовування при відключенні зовнішнього короткого замикання. Дійсно, при короткому замиканні в точці К₂ (див. Рис. 3.6) спрацьовують вимірювальні органи захисту А2, розташованої ближче до місця ушкодження, і захисту А1. При цьому на відключення діє тільки захист А2, тому що вона має меншу витримку часу. Однак такою дією захисту буде тільки у випадку, якщо після

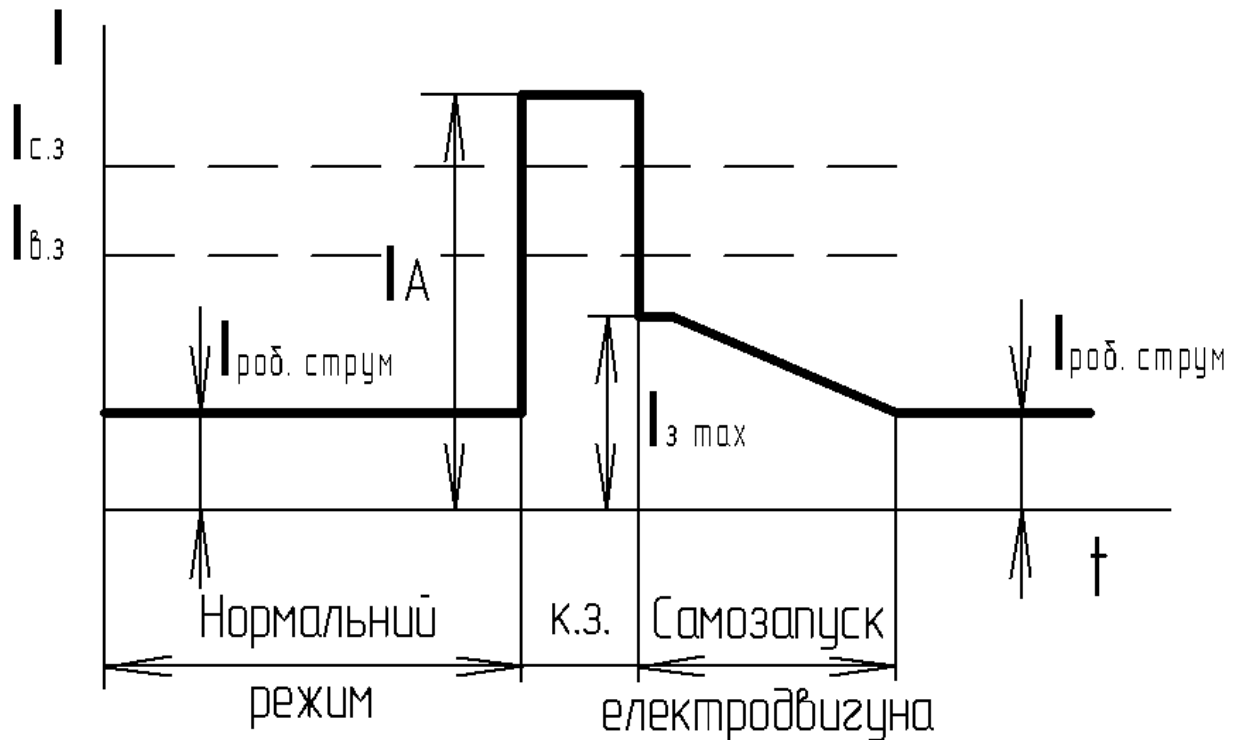


Рис. 2.8. Графік зміни струму в лінії при нормальному режимі, при короткому замиканні й після його відключення

спрацьовування захисту А2 і відключення короткого замикання вимірювальний орган захисту А1 повертається в початковий стан. Для цього необхідно, щоб струм повернення захисту був більше максимально можливого струму в лінії $I_{з.мах}$ після відключення зовнішнього короткого замикання (Рис. 2.8), тобто

$$I_{п.з}^{III} > I_{з.мах}$$

При визначенні струму $I_{з.мах}$ необхідно враховувати можливість збільшення струму в захищеній лінії внаслідок самозапуску електродвигунів при відновленні напруги після відключення короткого замикання, а також тривалого припустимого перевантаження при АВР, при відключенні однієї з паралельних ліній і т.п. Струм $I_{з.мах}$ звичайно більше довгостроково існуючого максимального робочого струму $I_{роб.мах}$, що враховується коефіцієнтом самозапуску $k_{сзп} \approx 2,5 \dots 3$. У зв'язку із цим селективна дія захисту забезпечується, якщо $I_{п.з}^{III} > k_{відстр}^{III} k_{сзп} I_{роб.мах}$ або з урахуванням коефіцієнта відстройки $k_{відстр}^{III}$

$$I_{п.з}^{III} = k_{відстр}^{III} k_{сзп} I_{роб.мах} \quad (2.5)$$

Коефіцієнт відстройки враховує, наприклад, погрішності реле, неточності розрахунку й приймається рівним $k_{відстр}^{III} = 1,1 \dots 1,2$.

З урахуванням коефіцієнта повернення $k_{п} = I_{п.з}^{III} / I_{с.з}^{III}$ з (2.5) виходить наступне вираження для струму спрацьовування захисту:

$$I_{c.3}^{III} = k_{\text{відстр}}^{III} k_{c3п} I_{\text{роб.мах}} / k_{п}. \quad (2.6)$$

Таким чином, для вторинних реле загальний розрахунковий вираз для визначення струму спрацьовування реле має вигляд

$$I_{c.p}^{III} = (k_{\text{відстр}}^{III} k_{c3п} / k_{в}) k_{сх}^{(3)} I_{\text{роб.мах}} / K_1. \quad (2.7)$$

При визначенні максимального робочого струму $I_{\text{роб.мах}}$ розрахунковим може бути випадок відключення захищеної лінії при к. з. і її успішного повторного включення пристроєм АПВ. При відключенні лінії вимірювальні органи захисту повертаються у вихідний стан, тому коефіцієнт повернення у виразі (2.7) у цьому випадку приймається $k_{п} = 1$.

Для забезпечення селективності в ряді випадків, наприклад при використанні реле РТВ, потрібно, щоб по мірі наближення до джерела живлення струм спрацьовування захистів збільшувався. В інших випадках струм спрацьовування $I_{c.31}^{III}$ захисту А1, розташованої поблизу джерела живлення, повинен бути не менше струму спрацьовування $I_{c.32}^{III}$ захисту А2 (див. Рис.2.7). Таким чином, повинна виконуватися умова $I_{c.3(n-1)}^{III} \geq I_{c.3п}^{III}$.

У ряді випадків доводиться враховувати також вплив струмів навантаження. При цьому, зокрема, повинна виконуватися умова

$$I_{c.3(n-1)}^{III} \geq (I_{c.3п}^{III} + I_{\text{роб.мах}}),$$

де $I_{\text{роб.мах}}$ — максимальний робітник струму електроспоживачів підстанції Г (див. Рис. 2.6). Чутливість максимального струмового захисту перевіряють по мінімальному струму I_{Kmin} при ушкодженні наприкінці захищеної лінії, (див. Рис. 2.6, точка K_3). Чутливість вважається достатньою при $k_{ч}^{III} \geq 1,5$ [3]. Якщо максимальний струмовий захист здійснює подальше резервування, її коефіцієнт чутливості визначається по мінімальному струму к. з. наприкінці суміжної ділянки (див. Рис. 2.7, точка K_1 для захисту А1). При цьому необхідно, щоб $k_{ч}^{III} \geq 1,2$.

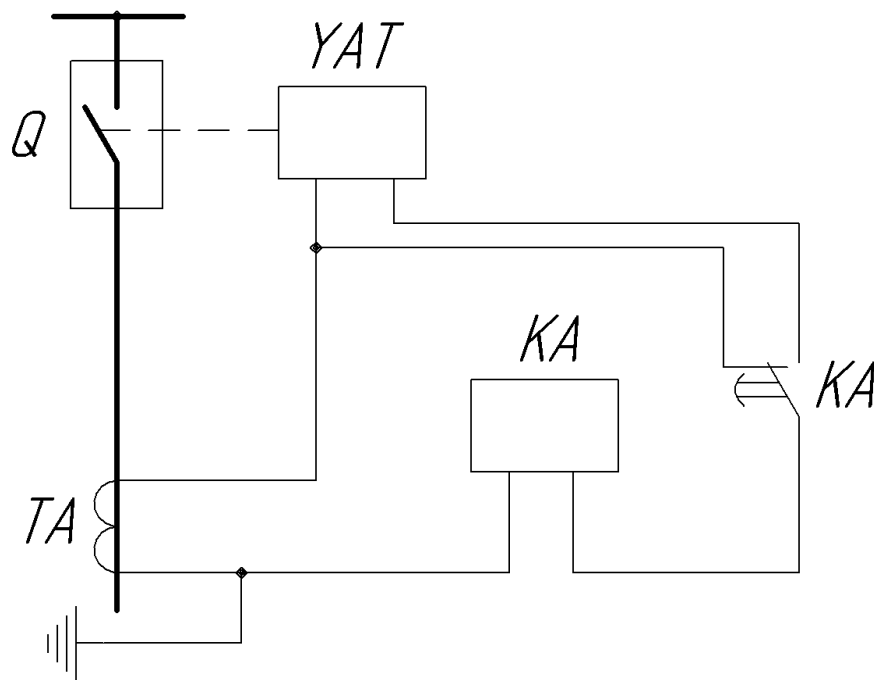


Рис. 2.9. Принципова однолінійна схема максимального струмового захисту з безпосереднім живленням оперативних ланцюгів змінного струму від вторинної обмотки трансформатора струму

При наявності декількох ліній, що відходять від шин прийомної підстанції, коефіцієнт $k_{\text{ч}}^{\text{III}} \geq 1,2$ повинен забезпечуватися при короткому замиканні наприкінці кожної з них. У системах електропостачання для виконання максимального струмового захисту часто використовують індукційне реле РТ-80. У цьому випадку джерелом оперативного струму є трансформатори струму, а захист виконується за схемою з дешунтуванням електромагніта відключення вимикача при спрацьовуванні (Рис.2.9). У такій схемі трансформатор струму використовується не тільки як вимірювальний, але й для живлення електромагніта відключення вимикача. Схема виконується так, що електромагніт відключення YAT підключається до трансформатора струму ТА тільки при спрацьовуванні захисту. При цьому для запобігання неприпустимого розмикання ланцюга трансформатора струму використовується реле КА з перемикаючим без розмикання ланцюга контактом, наприклад реле РТ-85. У процесі перемикання спочатку електромагніт відключення YAT вимикача Q підключається до трансформатора струму (замикається правий контакт КА), а потім він дешунтується (розмикається лівий контакт). Вимикач Q відключається, якщо струм в електромагніті відключення виявиться достатнім для його дії.