

**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 № 3 - Структура релейного захисту

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. Схеми та загальна оцінка струмових захистів
2. Схема струмового захисту з незалежною витримкою часу на постійному оперативному струмі.
3. Схема струмового захисту із вторинними реле струму прямої дії РТВ і РТМ.
4. Схема струмового захисту з комбінованою характеристикою витримки часу (двоступінчастий струмовий захист, що містить I і III ступінь).
5. Схема струмового захисту з незалежною витримкою часу на змінному оперативному струмі.
6. Схема струмового захисту зі східчастою характеристикою витримки часу на змінному оперативному струмі.
7. Схема струмового захисту на змінному оперативному струмі з використанням блоків живлення й заряду.
8. Загальна оцінка струмових захистів.

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 автоматика и релейная 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/>

Текст лекції

СТРУКТУРА РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ

3.1 СХЕМИ ТА ЗАГАЛЬНА ОЦІНКА СТРУМОВИХ ЗАХИСТІВ

Для здійснення вимірювальної частини струмового захисту можна використати одну з схем з'єднання вимірювальних перетворювачів струму й ланцюгів струму вторинних вимірювальних органів. Вибір схеми визначається призначенням захисту й запропонованими до неї вимогами. Вимірювальна частина у всіх ступенів однакова, тому якщо захист містить кілька ступенів, то їхні вимірювальні органи з'єднуються між собою послідовно. При наявності окремого органа витримки часу логічна частина другого ступеня й логічна частина третього ступеня їхній захист однаковий. У цьому випадку та сама схема захисту може бути використана як для виконання струмової відсічки з витримкою часу, так і для виконання максимального струмового захисту. Немає розходження й між схемами максимального струмового захисту й струмової відсічки без витримки часу, виконаних на основі вторинних реле прямої дії типу РТВ і РТМ. У системах електропостачання часто використовують комбіноване реле РТ-80 або аналогічні напівпровідникові реле. Вони дозволяють виконати струмовий захист двоступінчастим, який містить перший та третій ступінь. Для зображення пристроїв захисту й автоматики використовуються принципові (повні), структурні, функціональні й монтажні схеми.

Принципові (повні) схеми зображують у сполученому й рознесеному видах. На Рис. 3.1, а показана принципова сполучена схема, однакова й для другого та для третього ступенів захисту на постійному оперативному струмі. На схемі контакти й виводи обмоток реле подані в сполученому вигляді так, що видно їхню взаємну приналежність. Звичайно поряд зі схемою релейного захисту зображують схему первинних з'єднань приєднання, яке захищається. По міру ускладнення схем релейного захисту з'являється велика кількість реле, контактів і пересічних ланцюгів, тому принципові сполучені схеми втрачають наочність і стають складними. Схему можна спростити шляхом роздільної побудови ланцюгів змінного струму, напруги, ланцюгів керування й ін. Такий спосіб зображення схем називається рознесенням.

На Рис. 3.1, б, в зображений той же струмовий захист рознесеним способом. У цій схемі реле, як єдиної умовної позначки, не існує. Зокрема, контакти й обмотки реле струму розміщуються в різних місцях (контакти в ланцюгах керування, обмотки – в ланцюгах струму). Їхня взаємна

приналежність визначається відповідними буквеними й цифровими позначеннями.

У структурних схемах пристрою захисту й автоматики розбиваються на окремі частини, які зображують у вигляді прямокутників з відповідними позначеннями. Схема, не виявляючи суті роботи цих частин, показує лише структуру пристрою й взаємозв'язок між окремими частинами.

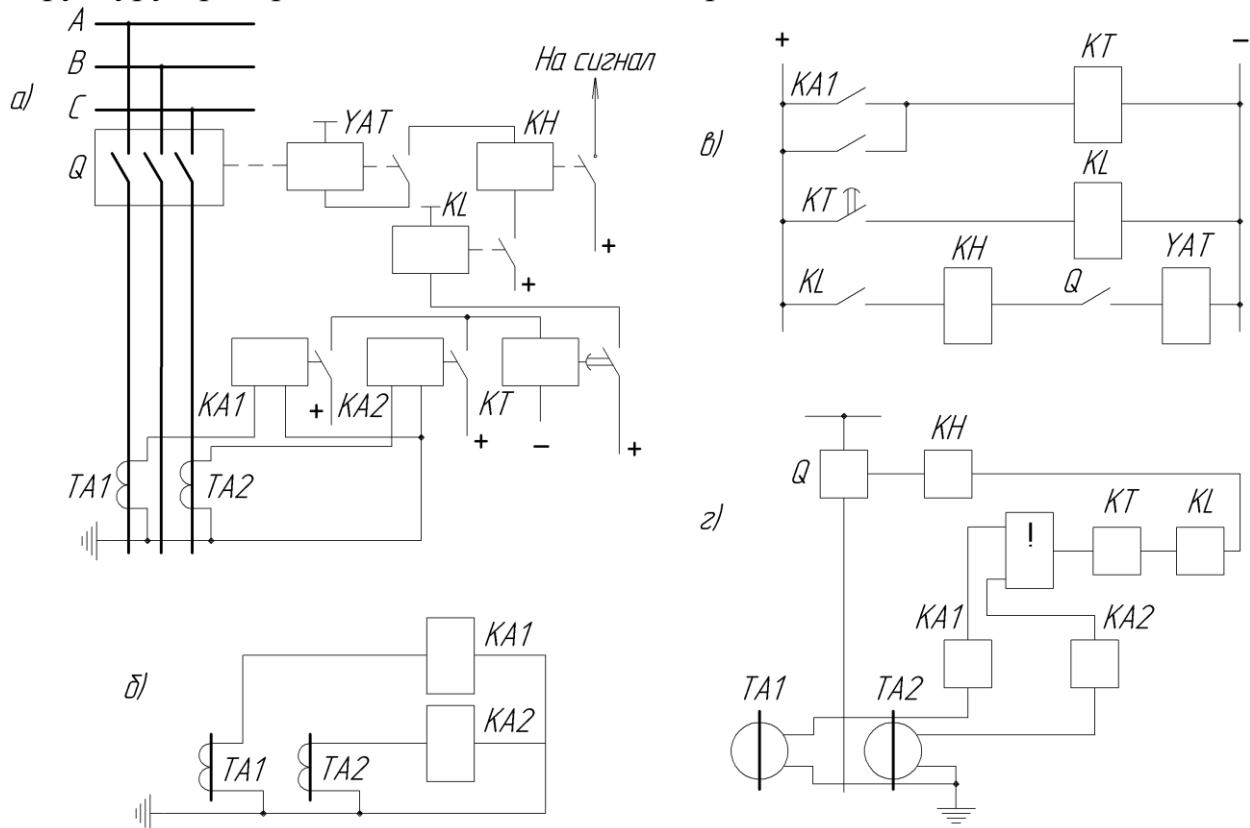


Рис. 3.1. Сполучена (а), рознесена (б, в) і функціональна (г) схеми максимального струмового захисту на постійному оперативному струмі

Функціональні схеми є розвитком структурних схем. Вони більше деталізовані. Це дозволяє відбити взаємозв'язок і суть процесів, що протікають в окремих частинах пристрою. Функціональна схема розглянутого захисту показана на Рис. 3.1, г.

Державним стандартом уведені єдині умовні позначки електричних апаратів і їхніх елементів, відповідно до яких апарати позначаються в положенні, прийнятому за початкове, тобто у відключеному (не збудженому) стані. У системах електропостачання, як відзначалося вище, струмові захисти від міжфазних к. з. звичайно виконують по двофазним дворелейним схемам. Розглянемо деякі з них.

Схема струмового захисту з незалежною витримкою часу на постійному оперативному струмі. Захист виконується за схемою неповної зірки на постійному оперативному струмі (Рис. 3.1) з використанням двох трансформаторів струму TA1 і TA2, встановлених у фазах A і C за вимикачем Q. Захист може підключатися й до трансформаторів струму, розташованих до

вимикача (вони звичайно вбудовані у втулки вимикачів). Виходячи з вимог техніки безпеки вторинні обмотки трансформаторів струму заземлюються. Вимірювальний орган захисту виконаний із двох максимальних реле струму КА1, КА2 типу РТ-40, а орган витримки часу являє собою реле часу КТ типу ЭВ-134. У схему захисту включені проміжне реле КЛ типу РП-23 і вказівне реле КН типу РУ-1. Необхідність проміжного реле обумовлюється недостатньою комутаційною здатністю контактів реле часу. При виникненні ушкодження спрацьовують реле струму КА1 і КА2 (або одне з них) і контактами КА1 і КА2 (або одним з них) замикають ланцюг обмотки реле часу КТ, приводячи його в дію. Після закінчення встановленої витримки часу реле замикає контакт КТ у ланцюзі обмотки проміжного реле КЛ, що, спрацьовуючи, замикає контакт КЛ і відключає вимикач. При цьому вказівне реле КН фіксує дію захисту на відключення. Контакт проміжного реле КЛ не розрахований на відключення струму, який споживається електромагнітом відключення УАТ. Тому в ланцюг електромагніта відключення послідовно з контактом реле КЛ включений допоміжний контакт вимикача Q, що розмикає ланцюг УАТ при відключенні вимикача. Розглянуту схему можна використати для виконання максимального струмового захисту й для виконання струмового відсічка з витримкою часу (II і III ступеня захисту).

Схема струмового захисту із вторинними реле струму прямої дії РТВ і РТМ. За допомогою реле РТВ виконують максимальний струмовий захист, а за допомогою реле РТМ - струмову відсічку без витримки часу. Ці реле вбудовують у вантажні й пружинні приводи, призначені для вимикачів приєднань напругою 6-35 кВ. У багатьох сучасних пружинних і вантажних приводах є два реле РТВ або два реле РТМ. При цьому максимальний струмовий захист або струмова відсічка виконуються за схемою, показаною на Рис. 3.2, а.

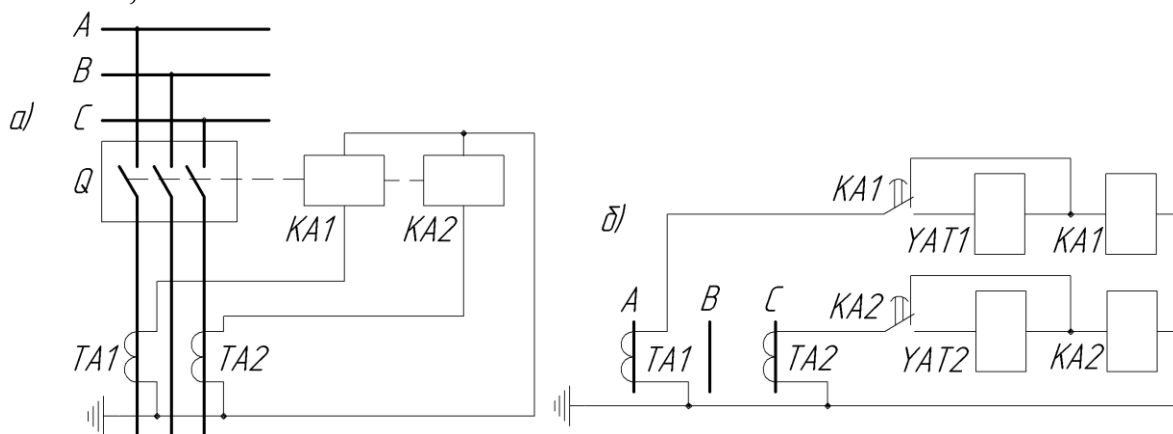


Рис. 3.2. Максимальний струмовий захист з реле прямої дії типу РТВ (а) і з реле непрямої дії на змінному оперативному струмі з дешунтуванням електромагніта відключення (б)

Схема струмового захисту з комбінованою характеристикою витримки часу (двоступінчастий струмовий захист, що містить I і III ступінь). Захист виконується за допомогою індукційного реле РТ-85 на змінному оперативному струмі з дешунтуванням електромагнітів відключення

вимикача. Схема захисту виконана із двома реле КА1 і КА2 і двома електромагнітами відключення YAT1 і YAT2 (Рис. 3.2, б). У нормальному режимі ланцюги електромагнітів відключення розімкнуті на контактах відповідних реле. При спрацьовуванні реле в процесі перемикання контакту спочатку включається електромагніт відключення в ланцюг трансформатора струму, а потім він дешунтується й, спрацьовуючи, відключає вимикач.

Розглянута схема захисту проста, вона широко застосовується на вимикачах з вантажними й пружинними приводами, електромагніти відключення яких споживають відносно невелику потужність. Як електромагніти відключення можна використати реле РТМ.

Схема струмового захисту з незалежною витримкою часу на змінному оперативному струмі. Захист виконується за схемою неповної зірки з дешунтуванням електромагнітів відключення, із проміжними реле РП-341 і реле часу РВМ-12. У схемі захисту (Рис. 3.3) вимірювальний орган складається із двох реле струму КА1, КА2 типу РТ-40.

Первинні обмотки TL1.1, TL2.1 трансформаторів, що насичуються, реле часу КТ включені на фазні струми трансформаторів струму ТА1 і ТА2 послідовно з обмотками реле струму й первинними обмотками TL3.1, TL4.1 трансформаторів, що насичуються, проміжними реле KL1, KL2 (Рис. 3.3, а). Реле часу спрацьовує тільки при замиканні його ланцюга керування контактами КА1.1 або КА2.1 реле струму. Схема включення реле часу виконана так, що при будь-яких коротких замиканнях пуск його завжди здійснюється яким-небудь одним реле (Рис. 3.3, б). Це необхідно для правильної дії реле часу. Після закінчення заданої витримки часу реле спрацьовує і його контакт КТ замикає ланцюг керування проміжних реле KL1, KL2 (Рис. 3.3, в).

Реле KL1 і KL2 (або одне з них) спрацьовують і своїми перемикаючими контактами KL1.1, KL2.1 спочатку включають у ланцюг трансформаторів струму, а потім дешунтують електромагніти відключення YAT1 і YAT2. При цьому внаслідок збільшення навантаження трансформаторів струму, їхні вторинні струми можуть знизитися настільки, що реле струму, а отже, і реле часу повернуться у вихідний стан перш, ніж відбудеться відключення вимикача. Відключити ушкоджену ділянку захист не зможе. Для запобігання цього в схемі захисту передбачене дешунтування контакту реле часу КТ замикаючими контактами KL1.2, KL2.2 проміжних реле, після спрацьовування яких дія захисту вже не залежить від поведінки вимірювального органа.

У схемі захисту передбачене вказівне реле КН типу РУ-1, обмотка якого включена в ланцюг керування проміжних реле. Всі реле повертаються у вихідний стан після дії електромагнітів відключення й відключення вимикача.

Розглянута схема придатна для виконання й максимального струмового захисту, і струмової відсічки з витримкою часу.

Схема струмового захисту зі східчастою характеристикою витримки часу на змінному оперативному струмі. На Рис. 3.4 показана схема двоступінчастого струмового захисту від багатофазних к. з. на змінному оперативному струмі. У вимірювальних органах захисту використані реле струму КА1 - КА4 типу РТ-40. Перший ступінь захисту (реле КА1, КА2, КН1) є струмовими відсічками без витримки часу, а другий (КА3, КА4, КТ, КН2) -

струмовими відсічками з витримкою часу або максимальним струмовим захистом (Рис. 3.4, а). Витримка часу створюється реле часу РВМ-12 (реле КТ), а його ланцюг керування (Рис. 3.4, б) виконаний, як і в схемі струмового захисту (Рис. 3.3, б). Електромагніти відключення $YAT1$, $YAT2$ включаються в ланцюг трансформаторів струму й дешунтуються перемикаючими контактами вихідних проміжних реле $KL1$, $KL2$ типу РП-341. Вказівне реле $KN1$ спрацьовує при замиканні контактів реле струму $KA1$, $KA2$ першого ступеня, а вказівне реле $KN2$ - при спрацьовуванні реле часу KT (Рис. 3.4, в).

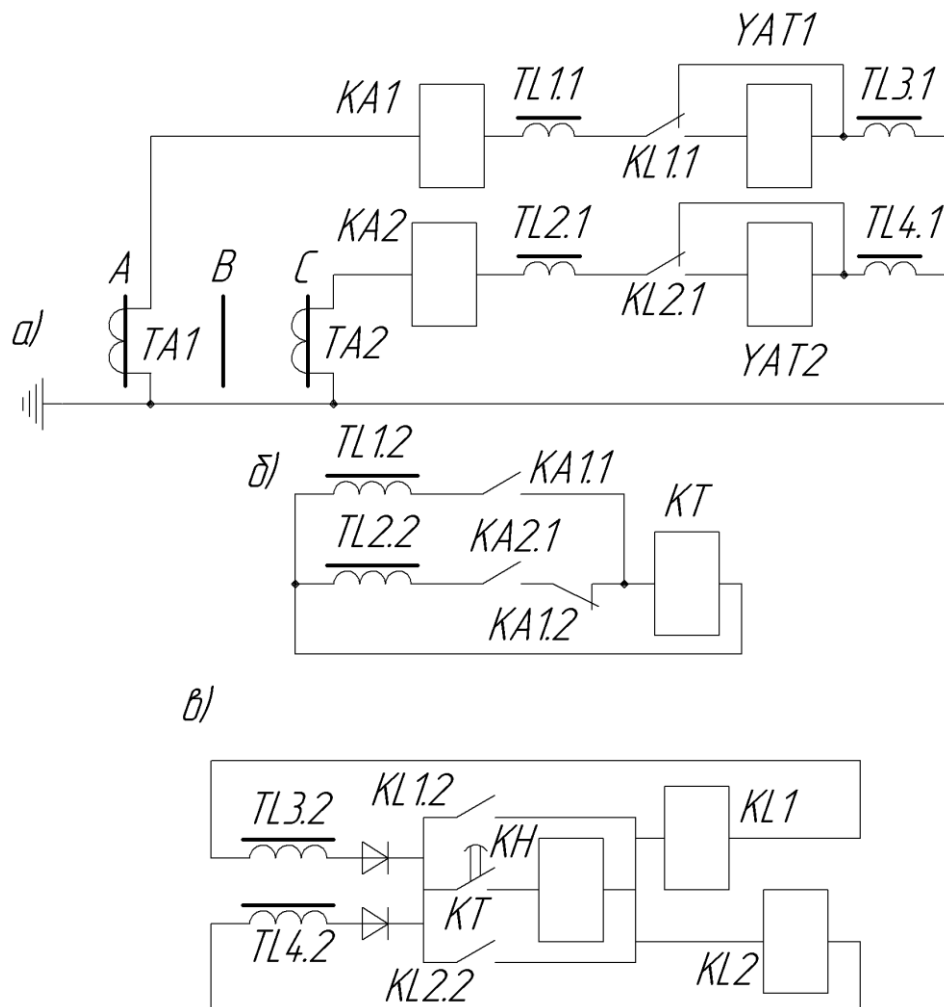


Рис. 3.3. Максимальний струмовий захист із незалежною витримкою часу на змінному оперативному струмі:

а - ланцюги струму; б - ланцюги реле часу; в - ланцюги проміжних реле

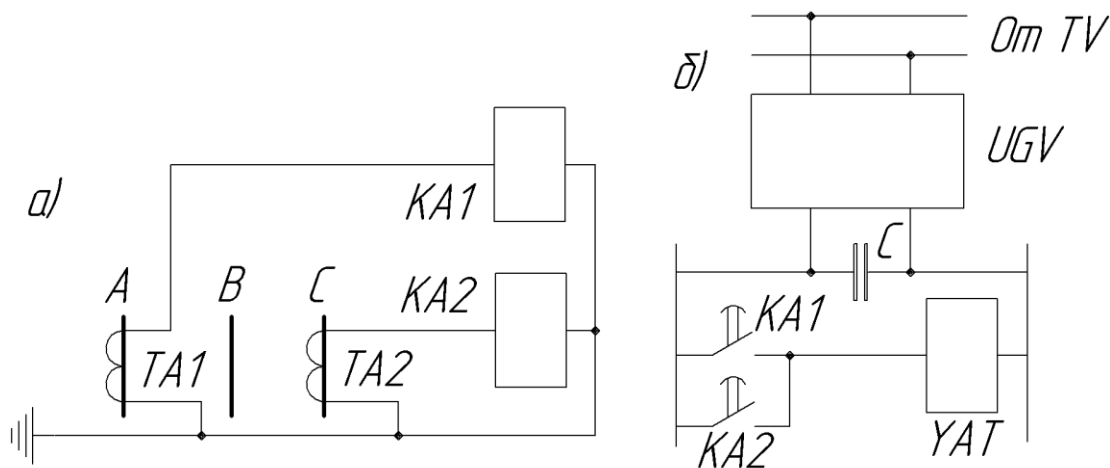


Рис. 3.5. Максимальний струмовий захист з обмежено залежною витримкою часу на рівному оперативному струмі

При цьому захист виконується за схемою, вказаною на Рис. 3.1, але оперативним струмом є рівний струм. У захистах на основі напівпровідникової елементної бази використовують ті ж схеми з'єднання вимірювальних перетворювачів струму й вимірювальних органів, що й у розглянутих захистах з електромеханічними реле, але для живлення оперативних ланцюгів застосовують інші блоки живлення. Захист в цілому виходить досить складний, тому для його зображення широко використовують структурні й функціональні схеми (див. Рис. 3.1, г).

Загальна оцінка струмових захистів. Струмові відсічки без витримки й з витримкою часу й максимальний струмовий захист утворюють перший, другий та третій щаблі триступінчастого струмового захисту. Разом з тим кожна з них може використатися і як окремий захист. Основними перевагами струмових відсічок без витримки часу є: селективна дія й у мережах складної конфігурації з будь-яким числом джерел живлення; швидке відключення найбільш важких коротких замикань, що виникають поблизу шин станцій і підстанцій; простота схеми. Основними їх недоліками: захист тільки частини довжини лінії; залежність від режиму роботи системи й перехідного опору у місці короткого замикання зони, що захищається. У зв'язку з зазначеним струмові відсічки без витримки часу як окремі захисти застосовуються у вигляді додаткових захистів, призначених для скорочення часу відключення найбільш важких ушкоджень. При цьому зона, що захищається, повинна бути не менш $l = (0,15 \dots 0,2) l_d$ довжини лінії.

Струмові відсічки з витримкою часу мають порівняно невеликий час спрацьовування, здатна здійснювати далеке й ближнє резервування, селективні в мережах з двостороннім живленням. Однак у ряді випадків чутливість їх виявляється недостатньою. Максимальний струмовий захист забезпечує відключення ушкодження тільки в радіальних мережах з одностороннім живленням. При цьому у зв'язку з вибором витримок часу по східчастому принципі можуть бути неприпустимо більші часи відключення ушкоджень поблизу джерел живлення. Необхідна чутливість захисту забезпечується не

завжди, особливо при далекому резервуванні. Разом з тим максимальний струмовий захист порівняно простий і досить надійний. Незважаючи на відзначені недоліки, він широко застосовується в радіальних мережах всіх напруг з одним джерелом живлення; у системах електропостачання напругою 10 кВ і нижче він є основним захистом. Максимальний струмовий захист звичайно поєднується зі струмовими відсічками, створюючи разом з ними захист зі східчастою характеристикою витримки часу. Такий захист дає можливість, особливо при наявності ПАПВ, порівняно швидко відключати ушкодження в будь-якій точці мережі й у багатьох випадках відмовитися від більш складних захистів. Однак варто мати на увазі, що в цілому струмові захисти зі східчастою характеристикою витримки часу забезпечують селективну дію тільки в мережах з одностороннім живленням. При цьому чутливість у ряді випадків виявляється недостатньою. Це характерно насамперед для мереж сільськогосподарського електропостачання. Зменшити струм спрацьовування захисту й тим самим підвищити її чутливість можна або застосуванням комбінованого вимірювального органа (реле струму й реле напруги), або введенням у схему різних блокувань, що запобігають зайвим спрацьовуванням захисту.