

**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 № 6 - Струмові захисти ліній з двостороннім живленням
(струмові спрямовані захисти). Диференційні струмові захисти**

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 кафедри електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Лазуренко О.П.*

План лекції:

1. Призначення й види диференційних захистів
2. Принцип дії повздовжнього диференційного струмового захисту
3. Повздовжній диференційний захист ліній і його особливості
4. Поперечний диференційний струмовий захист
- 6.5 Поперечний диференційний струмовий направлений захист
6. Виконання й область використання поперечних диференційних струмових направлених 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 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/>

6.1 ПРИЗНАЧЕННЯ Й ВИДИ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ ЗАХИСТІВ

Для захисту елементів електричних установок широко використовується диференційний принцип, на якому здійснюються поздовжні й поперечні диференційні захисти з абсолютною селективністю. Поздовжні диференційні струмові захисти використовуються в основному для захисту елементів із зосередженими параметрами, наприклад трансформаторів. Вони можуть застосовуватися також для захисту ліній невеликої довжини. Поперечні диференційні захисти виконуються у вигляді диференційних струмових й струмових направлених, а також балансових захистів. Вони служать для захисту двох (і більше) паралельних ліній, а також для захисту відгалужених замикань обмотки статора синхронного генератора, що має паралельні галузі.

6.2 ПРИНЦИП ДІЇ ПОВЗДОВЖНЬОГО ДИФЕРЕНЦІЙНОГО СТРУМОВОГО ЗАХИСТУ

Повздовжній диференційний струмовий захист оснований на порівнянні струмів на початку й кінці захищаного елемента. Для виконання захисту лінії на її кінцях встановлюють вимірювальні трансформатори струму з однаковим коефіцієнтом трансформації. Вторинні обмотки трансформаторів струму однойменних фаз і реле з'єднуються за допомогою допоміжних проводів так, щоб при короткому замиканні поза захищеною зоною, обмеженою вимірювальними трансформаторами, струм у реле був відсутній, а при ушкодженні усередині зони дорівнював струму короткого замикання.

Застосовуються дві можливі схеми виконання диференційного захисту— із циркулюючими струмами й з урівноваженими напругами. В нашій країні використовують переважно захисти, виконані за схемою із циркулюючими струмами (Рис. 6.1). Схема виходить шляхом паралельного з'єднання вторинних обмоток трансформаторів струму ТАІ, ТАІІ і реле струму КА. При цьому струм у реле I_{1P} визначається з обліком прийнятих умовних позитивних напрямків струмів I_{1I} і I_{1II} по кінцях лінії, що захищається.

З урахуванням позитивних напрямків, зазначених на Рис.6.1, а, струм у реле дорівнює геометричній сумі вторинних струмів:

$$I_{1P} = I_{2I} + I_{2II}. \quad (6.1)$$

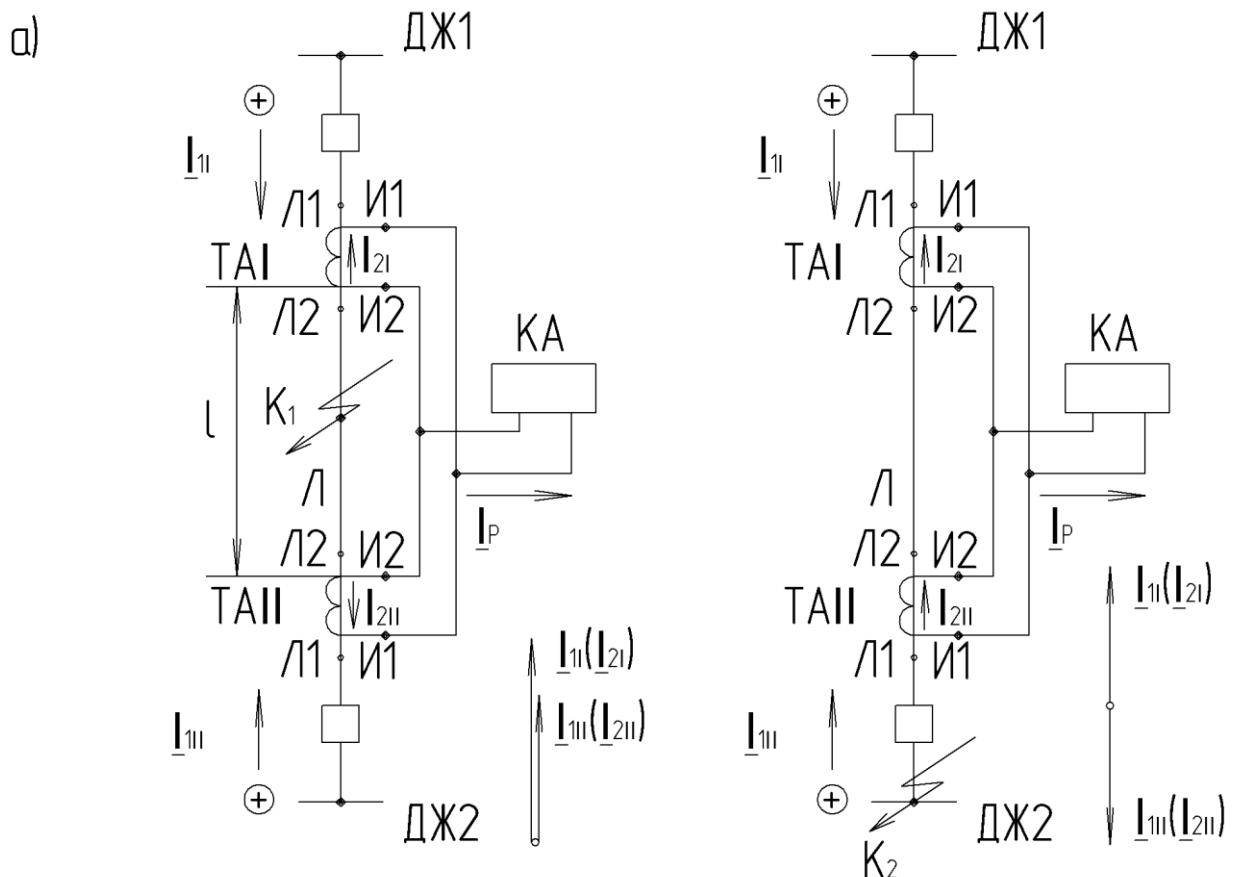


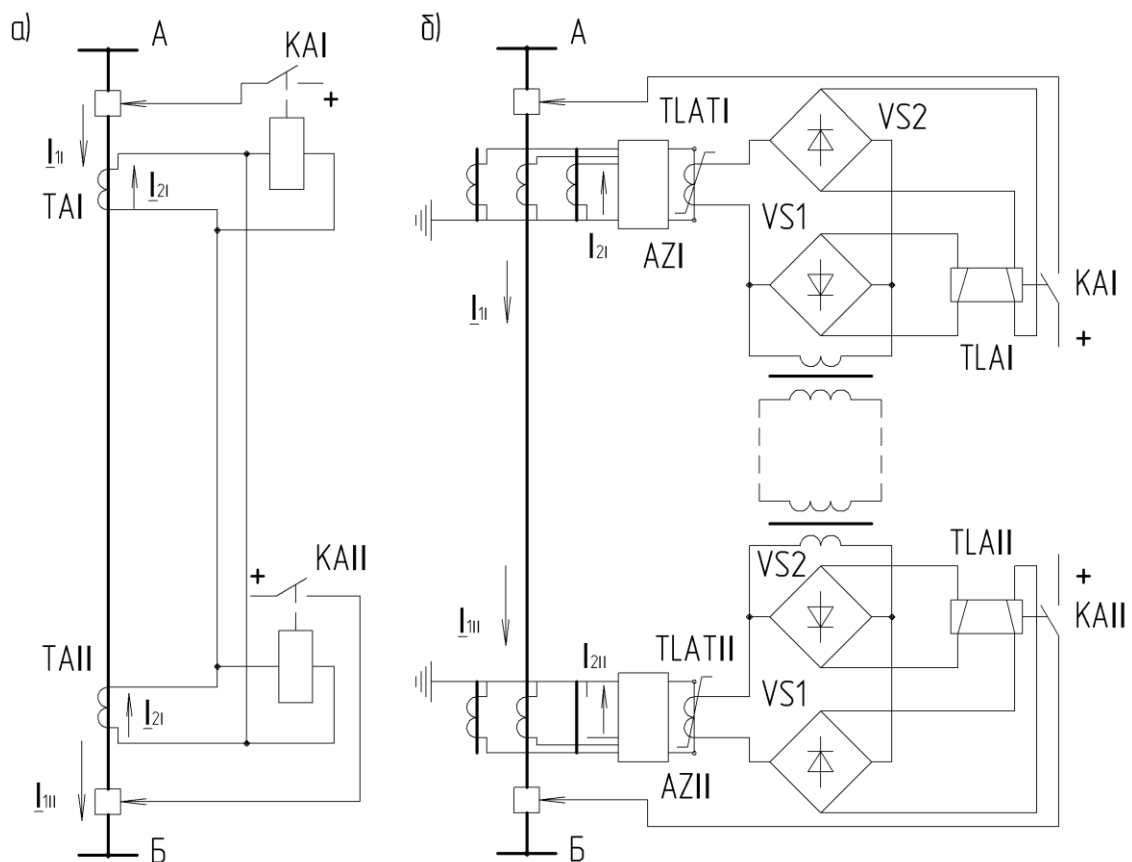
Рис. 6.1. Розподіл струмів у схемі поздовжнього диференційного захисту з циркулюючими струмами та їхні векторні діаграми.

При короткому замиканні в захищасій зоні I , обмеженій трансформаторами струму $ТАI$ і $ТАII$ (точка K_1), струми I_{1I} і I_{1II} від джерел живлення направляються в точку ушкодження, тобто мають позитивний напрям (Рис. 1,а), внаслідок чого струми I_{2I} і I_{2II} у реле відповідно до виразу (6.1) сумуються $I_P = I_{2I} + I_{2II} = I_{2K}$. При однобічному живленні один зі струмів, наприклад I_{1II} , дорівнює нулю, тому вторинний струм I_{2II} відсутній. При цьому струм I_{2I} не може замикатися через вторинну обмотку трансформатора струму $ТАII$, тому що трансформатор струму працює, як указувалося, у режимі джерела струму (опір струмових ланцюгів реле в багато разів менше внутрішнього опору трансформатора струму). Весь струм I_{2I} проходить через реле. Таким чином, при короткому замиканні в зоні струм у реле визначається струмом I_K у точці ушкодження. При цьому захист спрацьовує, якщо $I_P \geq I_{C.P.}$. У нормальному режимі роботи, при хитаннях, а також при зовнішніх коротких замиканнях (точка K_2) первинні струми I_{1I} і I_{1II} рівні й зрушені по фазі на кут π . Якщо не зважати на погрішності трансформаторів струму, то $I_{2I} = -I_{2II}$ (Рис. 6.1,б), тому відповідно до (6.1) струм у реле $I_P = 0$ і захист не спрацьовує. Отже, поздовжній диференційний захист діє при ушкодженні в зоні й не реагує на зовнішні короткі замикання, струми хитань і струми нормальної роботи, тобто він володіє абсолютною селективністю. Ця принципова особливість дає можливість виконати захист без витримки часу, а при виборі струму спрацьовування не враховувати струмів хитань і нормального режиму. У дійсності трансформатори струму мають погрішності. Тому, незважаючи на те що в зазначених режимах первинні струми I_{1I} і I_{1II} рівні й зрушені по фазі на кут

π , вторинні струми I_{2I} і I_{2II} не однакові за абсолютним значенням і зрушені по фазі на кут, відмінний від π . У зв'язку з цим у реле з'являється струм, названий струмом небалансу $I_{НБ}$. Для виключення неправильної роботи диференційного захисту струм спрацьовування реле повинен вибиратися з урахуванням струму небалансу.

6.3 ПОВЗДОВЖНІЙ ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ ЗАХИСТ ЛІНІЙ І ЙОГО ОСОБЛИВОСТІ

Особливості повздовжнього диференційного захисту ліній обумовлені значною відстанню між кінцями захищеної зони. При цьому між підстанціями А і Б (Рис. 6.2, а) прокладаються допоміжні лінії, необхідні для з'єднання трансформаторів струму ТАІ і ТАІІ, розташованих на кінцях захищуваної лінії.



У схему захисту включаються два комплекти реле КАІ і КАІІ по одному на кожному кінці лінії, необхідні для відключення вимикачів з обох сторін. Виконання зазначених вимог ускладнює захист, збільшуючи витрати на її здійснення, і негативно впливає на чутливість і надійність.

Особливості захисту, обумовлені допоміжними проводами. У схемі захисту із циркулюючими струмами по допоміжним проводам безупинно проходять вторинні струми вимірювальних трансформаторів струму. Значення струмів і опору Z_{np} сполучених проводів визначають потужність, що віддається трансформаторами струму. При номінальному вторинному струмі $I_{ном}=5A$ трансформаторів струму обмежує опір сполучних проводів $Z_{np} \leq 1...2 \text{ Ом}$, тому

повздожній диференційний захист при припустимому перетині проводів можна використати на лінії довжиною лише в кілька сотень метрів.

При більших довжинах ліній зниження навантаження на первинні вимірювальні трансформатори струму досягається зменшенням струму в допоміжних проводах вторинними (проміжними) трансформаторами струму ТЛАІ і ТЛАІІ (Рис. 6.2,б) з коефіцієнтом трансформації $K_1 > 1$. Зазначений спосіб зниження навантаження використовується в типових схемах повздожніх диференційних захистів ліній. Крім того, у схеми захистів включають проміжні трансформатори ТЛАТІ і ТЛАТІІ, що насичуються, вони забезпечують зменшення навантаження на вимірювальні трансформатори при струмах к. з. за рахунок збільшення коефіцієнта трансформації при насиченні. У схемі застосовують диференційні реле постійного струму КАІ і КАІІ з гальмуванням випрямленим струмом. При більших кратностях струмів за рахунок насичення магнітопроводів трансформаторів ТЛАТ захист практично порівнює тільки фази струмів I_{1I} і I_{1II} (працює як диференційно-фазна).

В якості допоміжних проводів бажано використати існуючі кабелі телемеханіки й зв'язку. При цьому виключається необхідність у прокладці спеціального кабелю для захисту, завдяки чому різко знижуються витрати на її здійснення. У кабелі зв'язку, якщо він проходить уздовж траси захищеної лінії, при замиканні на землю в мережі виникають ЕРС, які можуть становити небезпеку для обслуговуючого персоналу й апаратури релейного захисту й автоматики. Ця небезпека виключається завдяки застосуванню трансформаторів ТЛА, що відокремлюють ланцюги реле від допоміжних проводів.

Для здійснення захисту, що діє при всіх видах коротких замикань залежно від співвідношень повних струмів фаз на кінцях захищеної лінії, необхідно мати шість диференційних реле й не менш чотирьох допоміжних проводів. При збільшенні довжини допоміжних проводів підвищується ймовірність їхнього ушкодження, що приведе до відмови або неправильної дії захисту. Для зменшення числа допоміжних проводів і диференційних реле в схемі захисту використовують комбіновані фільтри симетричних складових струмів АЗІ і АЗІІ, на виході яких струми пропорційні $I_1 + k_2 I_2$. Трохи гірші показники захист має при фільтрі $I_1 + k_0 I_0$, особливо знижену чутливість до двофазних коротких замикань.

Використання комбінованих фільтрів дозволяє скоротити число диференційних реле й число допоміжних проводів до двох і тим самим знизити ймовірність порушення зв'язку між трансформаторами струму. Для запобігання помилкових спрацьовувань і відмов при ушкодженні допоміжних проводів захист забезпечується спеціальними пристроями контролю їхньої справності.

Особливості захисту, обумовлені двома комплектами диференційних реле. Вторинні струми $I_{21} + I_{2II}$ розподіляються між паралельно включеними реле КАІ і КАІІ (Рис. 6.2, а). При цьому для струму I_{21} опір допоміжних проводів $Z_{пр}$ включається послідовно з опором реле КАІІ, а для струму I_{2II} — послідовно з опором реле КАІ. У зв'язку з цим у першому реле проходить більша частина струму I_{21} , і менша частина струму I_{2II} , а в другому реле —

навпаки, тобто проходить менша частина струму I_{2I} і більша частина струму I_{2II} .

Таким чином, навіть при відсутності погрішностей трансформаторів струму в реле при нормальній роботі й зовнішніми короткими замиканнями проходять струми небалансу, обумовлені неоднаковим розподілом вторинних струмів між ними. Зі збільшенням опору допоміжних проводів струми небалансу зростають, що вимагає відповідного загубіння захисту.

При коротких замиканнях у зоні струм у кожному реле становить тільки частину повного струму ушкодження, тому що друга його частина проходить по другому реле. У зв'язку з цим чутливість захисту знижується. Для підвищення надійності й чутливості захисту використовують диференційні реле струму з гальмуванням. Струми небалансу можна знизити за допомогою додаткового опору, що компенсує вплив лінії зв'язку. Однак така компенсація не забезпечує селективності захисту при значній довжині допоміжних проводів.

Повздовжній диференційний захист ліній типу ДЗЛ-2. У схемі захисту ДЗЛ-2 використаний комбінований фільтр, струм на виході якого пропорційний $I_1 + k_2 I_2$. У якості диференційного реле застосоване поляризоване реле РП7 із двома обмотками — робочою й гальмовою. Робоча обмотка підключається до випрямлювача VS1, на вхід якого подається напруга, пропорційна напрузі на допоміжних проводах (Рис.6.2,б), а гальмова обмотка підключається до випрямлювача VS2, включеному на струм, пропорційний току, що циркулює по допоміжним проводам. При струмах $I_k \leq 2,5 I_{C.3.}$ захист порівнює абсолютні значення й фази струмів I_{II} і I_{III} , а при більших кратностях струму к. з. за рахунок насичення ТЛАТ порівнюються, як вказувалося, тільки фази струмів.

Захист має швидкодіючий автоматичний контроль, що виводить його з дії при ушкодженні допоміжних проводів, а також автоматичний і періодичний контроль опору ізоляції допоміжних проводів щодо землі. Захист типу ДЗЛ-2 призначений для використання в якості основного при всіх видах короткого замикання лінії електропередачі довжиною до 20 км (без відгалужень) у мережах із глухозаземленими нейтралями. Для використання захисту в мережах з ізольованими або заземленими через дугогасні реактори нейтралями роблять відповідні перемикання ланцюгів фільтра струму, що забезпечують підвищення чутливості захисту й переважне відключення однієї ушкодженої лінії при подвійних замиканнях на землю. Захист ДЗЛ-2 використовують також на блоках лінії - трансформатор. У цьому випадку його доповнюють пристроєм блокування від кидків струму намагнічування. Досліджувалася можливість використання повздовжніх диференційних захистів на лініях напругою 6-10 кВ. Дослідження завершилися розробкою пристрою захисту, що не знайшов масового застосування.

Оцінка повздовжнього диференційного захисту ліній. Такий захист не вимагає відстроики по струму й часу від захистів суміжних ділянок, не реагує на хитання, забезпечує селективне й без витримки часу відключення ушкодженої ділянки в мережі будь-якої конфігурації. Для ділянок невеликої довжини захист виходить порівняно простий, досить надійний і задовольняючий вимогам чутливості.

Зі збільшенням довжини захищаємої зони, захист здобуває негативні властивості, які обумовлені впливом на його роботу великої довжини допоміжних проводів: різко зростає вартість захисту у зв'язку з більшими витратами на сполучний кабель і його прокладку; збільшується можливість ушкодження допоміжних проводів і, як наслідок, неправильна робота або відмова захисту. Тому виникає необхідність у спеціальному пристрої, що контролює справність допоміжних проводів. Крім того, з'являється додатковий струм небалансу, обумовлений нерівним розподілом вторинних струмів між двома реле, включеними на кінцях захищаємої лінії, для підвищення чутливості захисту доводиться використати диференційні реле з гальмуванням. Все це приводить до ускладнення захисту.

Поздовжній диференційний захист за принципом дії не реагує на зовнішні короткі замикання, тому не може здійснювати резервування при ушкодженні на суміжних елементах. У зв'язку з цим установка диференційного захисту у якості єдиного неприпустима. Відзначені недоліки обмежують застосування поздовжнього диференційного захисту на лініях електропередачі. У розподільних мережах необхідна чутливість, селективність і швидкість дії часто забезпечуються більш простими струмовими й струмовими спрямованими захистами в сполученні із засобами автоматики.

6.4 ПОПЕРЕЧНИЙ ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ СТРУМОВИЙ ЗАХИСТ

Принцип дії захисту й вибір струму спрацьовування. Цей захист оснований на порівнянні струмів однойменних фаз паралельних ланцюгів з параметрами, які мало відрізняються. Принцип дії його розглядається на прикладі виконання захисту зведеної лінії (Рис. 6.3, а). Такі лінії застосовують у розподільних мережах напругою 3-10 кВ, коли пропускна здатність одного ланцюга виявляється недостатньою. Для здійснення захисту використовують трансформатори струму з однаковими коефіцієнтами трансформації, встановленими з боку джерела живлення.

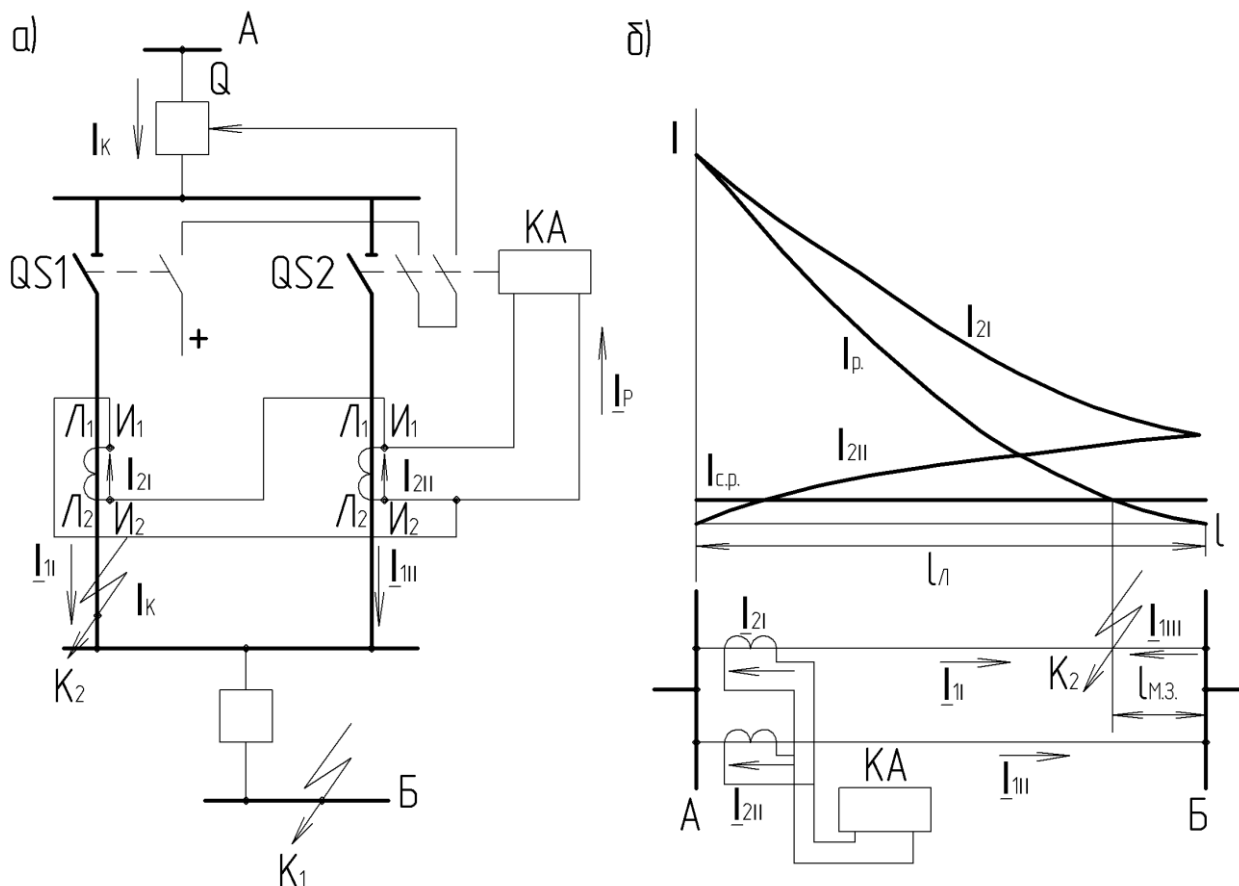


Рис. 6.3. Поперечний диференційний струмовий захист здвоєних ліній

Реле струму КА включається на різницю струмів двох однойменних фаз здвоєної лінії за схемою із циркулюючими струмами. При прийнятому умовному позитивному напрямку струмів від шин у лінію струм у реле $I_P = I_{2I} - I_{2II}$. Тому, як і в повздовжньому диференціальному захисті, при нормальній роботі й зовнішніх коротких замиканнях (за межами здвоєної лінії у точці К1) по обмотці реле проходить тільки струм небалансу.

Струм спрацьовування реле струму вибирається за умовою $I_{с.р} = k_{\text{відстр}} I_{\text{нбр.розр.мах}}$ при $k_{\text{відстр}} = 1,3$. Максимальний розрахунковий струм небалансу для захисту ліній з однаковими параметрами визначається по виразу (1.1), у якому замість струму $I_{\text{к.зовн.мах}}^{(3)}$ приймається струм $I_{\text{к.зовн.мах}}^{(3)}/2$:

$$I_{\text{нб.розр.мах}} = 0,1 k_{\text{одн}} k_{\text{ап}} I_{\text{к.зовн.мах}}^{(3)} / (2 K_I). \quad (6.2)$$

З огляду на розглянуте про можливі погрішності трансформаторів струму й про аперіодичну складову, можна прийняти $k_{\text{одн}} k_{\text{ап}} = 1,0$.

При короткому замиканні на одній з ліній, наприклад у точці К2, рівність струмів I_{2I} і I_{2II} порушується, у реле з'являється струм. Якщо $I_P = |I_{2I} - I_{2II}| \geq I_{с.р}$, то реле спрацьовує й відключає вимикач Q лінії.

Мертва зона захисту. При віддаленні точки короткого замикання К2 від місця установки захисту струм в ушкодженій лінії зменшується, а в неушкодженій зростає, внаслідок чого струм I_P у реле зменшується (Рис. 6.3, б) так, що при ушкодженні поблизу шин протилежної підстанції він стає менше

струму спрацьовування. При цьому захист відмовляє в дії. Довжина ділянки $l_{м.з.}$ при ушкодженні в межах якої захист не працює через недостатній струм у реле, називається мертвою зоною поперечного диференційного струмового захисту.

Для визначення мертвої зони $l_{м.з.}$ струми I_{II} , I_{III} і I_{III} передбачаються співпадаючими по фазі. При цьому спадання напруги від шин підстанції А до точки К2 однакові як уздовж одного, так і уздовж іншого ланцюга, тобто

$$I_{II}Z_{уд}(l_{л} - l_{м.з.}) = I_{III}Z_{уд}l_{л} + I_{III}Z_{уд}l_{м.з.}$$

Після перетворення, з огляду на те, що $I_{II} + I_{III} = I_k$, а $I_{II} - I_{III} = I_{с.з.}$, одержуємо

$$l_{м.з.} = (I_{с.з.}/I_k) l_{л}. \quad (6.3)$$

Відповідно до вимог, довжина мертвої зони не повинна перевищувати $l_{м.з.} \leq 0,1l_{л}$.

Оцінка захисту. Захист за принципом дії не захищає зборки здвоєної лінії й шини підстанції, а у випадку відключення одного з ланцюгів повинен виводитися з дії, тому що його струм спрацьовування в загальному випадку виявляється не відстроєним від струму ланцюга, що залишився в роботі, і захист не має витримки часу. Це, а також наявність мертвої зони є недоліком захисту, що виключає можливість її застосування як єдиний захист здвоєних ліній.

Поперечний диференційний струмовий захист не здатний визначити, на якому з паралельних ланцюгів є ушкодження, тому він не може бути використаний для паралельних ліній з вимикачами на кожній з них, коли потрібно і є можливість відключати тільки ушкоджену лінію. Така можливість з'являється й на здвоєній лінії, якщо роз'єднувачі в її паралельних ланцюгах постачені приводами з дистанційним керуванням. У цьому випадку дія захисту може бути погоджена з роботою пристрою АПВ лінії. При ушкодженні будь-якого паралельного ланцюга захист спочатку відключає вимикач Q (Рис.6.3, а), після цього відключається роз'єднувач QS1 або QS2 ушкодженого ланцюга, а потім вимикач включається.

6.5 ПОПЕРЕЧНИЙ ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ СТРУМОВИЙ НАПРАВЛЕНИЙ ЗАХИСТ

Основні органи й принцип дії. Поперечний диференційний струмовий захист здобуває здатність визначати ушкоджену лінію після включення в її схему органа напрямку потужності. Таким чином, захист має два органи - вимірювальний орган струму (пусковий) і напрямку потужності (вибірний). Реле струму пускового органа, як і в диференціальному струмовому захисті, спрацьовує при коротких замиканнях на кожній з паралельних захищаних ліній. Орган напрямку потужності дозволяє захисту визначати ушкоджену лінію. В органі напрямку потужності використовується, наприклад, індукційне реле напрямку потужності двосторонньої дії, обмотка струму якого включається послідовно з обмоткою реле струму на різницю струмів

однойменних фаз паралельних ліній, а до обмотки напруги підводить напруга шин, звичайно відповідній 90-градусній схемі включення реле. Захист встановлюється з обох боків двох паралельних ліній, приєднаних до шин через окремі вимикачі (Рис. 6.4, а).

З розгляду векторних діаграм струмів і напруг (Рис. 6.4, б, в) бачимо, що при коротких замиканнях на захищаємих лініях, реле напрямку потужності чітко визначають ушкоджену лінію. Так, при ушкодженні лінії Л1 у точці К1 обох реле напрямку потужності KW1 і KW2 мають позитивні обертаючі моменти (Рис. 6.4, б), під дією яких вони замикають контакти в ланцюгах проміжних реле KL1 і KL3, що діють з двох сторін на відключення лінії Л1.

При ушкодженні лінії Л2 у точці К2 кути між струмами й напругами, які підводять до реле, змінюються на кут π (Рис. 6.4, в), внаслідок чого обоє реле потужності під дією негативних обертаючих моментів замикають контакти в ланцюгах проміжних реле KL2 і KL4, що діють з двох сторін на відключення лінії Л2. При наявності джерел живлення з двох сторін захищаємої лінії, поведінка реле аналогічна.

Зона каскадної дії й мертва зона захисту. Пускові органи захисту, як і реле струму поперечного диференційного струмового захисту, не спрацьовують через малі струми в їхніх обмотках при коротких замиканнях у шин протилежної підстанції. Так, якщо точка К1 розташована коло шин підстанції Б, то не спрацьовує реле пускового органу захисту підстанції А. Однак при цьому, як видно з векторних діаграм (Рис. 6.4, б), достатнім для спрацьовування виявляється струм у реле пускового органу захисту підстанції Б. Цей захист відключає вимикач Q3. Після цього весь струм у точку К1 від підстанції А йде тільки по ушкодженій лінії Л1, завдяки чому пусковий орган спрацьовує й захист підстанції А відключає вимикач Q1. Таким чином, відбувається почергове (каскадне) відключення вимикачів ушкодженої лінії. Для розрахунку зони каскадної дії використовують вираз аналогічний (6.3).

$$I_{к.д} = (I_{с.з}/I_k) I_{л}, \quad (6.4)$$

Поперечний диференційний струмовий направлений захист, як і будь-який диференційний захист, є швидкодіючим, однак наявність зони каскадної дії збільшує час відключення ушкодженої лінії приблизно у два рази (при ушкодженні в зазначеній зоні). Зона каскадної дії для кожного комплексу захисту не повинна перевищувати $I_{к.д} \leq 0,25 I_{л}$ довжини захищаємої лінії. Орган напрямку потужності також має зону каскадної дії. Вона звичайно менше зони каскадної дії пускового органу й тому на роботу захисту не впливає.

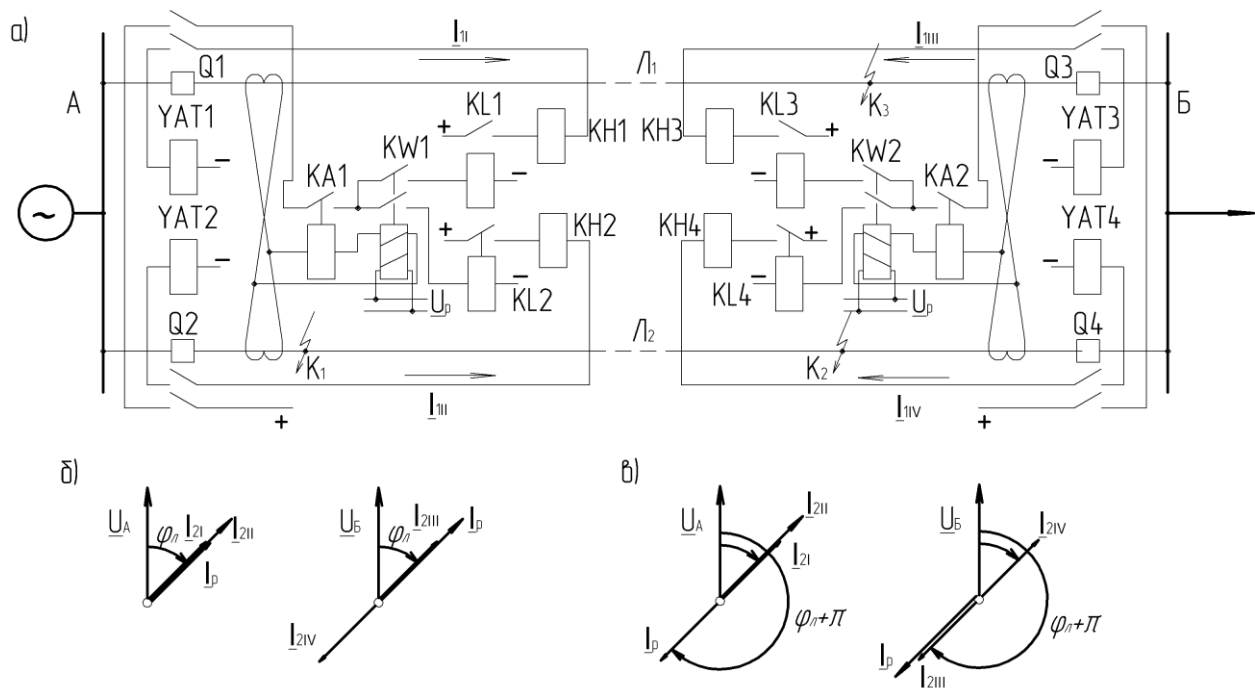


Рис. 6.4 Поперечний диференційний струмовий направлений захист

Крім зони каскадної дії реле напрямку потужності, як і в схемі струмового направленного захисту, має мертву зону $l_{м.з}$ по напрузі, тобто відмовляє в дії внаслідок недостатньої напруги, яка підводить до нього при металевих трифазних коротких замиканнях у місця установки захисту. Як указувалося, мертва зона не повинна перевищувати $l_{м.з} \leq 0,1l_{л}$ довжини лінії. У дійсності для існуючих реле напрямку потужності вона значно менше. Наявність мертвої зони обумовлює можливість відмови поперечного диференційного струмового направленного захисту з двох сторін захищеної лінії, у випадку трифазного короткого замикання в цій зоні. Це пояснюється тим, що мертва зона даного комплексу захисту розташовується в зоні каскадної дії захисту протилежного кінця ліній.

Відомі способи ліквідації мертвих зон. Один з них заключається у виконанні ланцюгів напруги реле напрямку потужності у вигляді резонансного контуру, настроєного на промислову частоту (реле має так звану «пам'ять»). Однак розроблена схема поперечного диференційного направленного захисту з таким органом напрямку потужності застосування не одержала. При другому способі використовуються принципові особливості поперечних диференційних струмових направлених захистів, що дозволяють застосовувати реле напрямку потужності з обертаючим моментом, який має вид

$$M_{об} = (I_{2I} - I_{2II})[U_P + k(I_{2I} + I_{2II})]\cos(\varphi_p + \alpha). \quad (6.5)$$

Коефіцієнт k вибирається так, щоб при ушкодженні в мертвій зоні до обмотки напруги реле підводила напруга, достатня для спрацьовування. Однак для захисту, установленому на прийомній підстанції, складова напруги $k(I_{2I} + I_{2II})$ при ушкодженні на будь-якій лінії в будь-якій точці дорівнює нулю й мертва зона не усувається.

Мертва зона Ім.з, як правило, досить мала, мала й ймовірність виникнення трифазних металевих коротких замикань у цій зоні. З огляду на це, а також наявність на лініях струмових відсічок без витримки часу від багатofазних коротких замикань, ніяких мір, направлених на усунення мертвої зони поперечного диференційного направленої захисту, звичайно не передбачають.

Ланцюги оперативного струму захисту. Поперечний диференційний направлений захист при відключенні однієї з ліній втрачає здатність працювати селективно, тому одночасно з відключенням лінії захист автоматично виводиться з дії. Це забезпечується підведенням оперативного струму до захисту через послідовно включені допоміжні контакти вимикачів Q1 і Q2 (Рис.6.4,а). При відключенні одного з них відповідний допоміжний контакт розмикається й захист виводиться з дії. Аналогічним образом використовуються допоміжні контакти вимикачів Q3 і Q4.

Таке виконання ланцюгів оперативного струму виключає також можливість неправильної роботи захисту в режимі каскадного відключення, наприклад короткого замикання на лінії Л2 у зоні

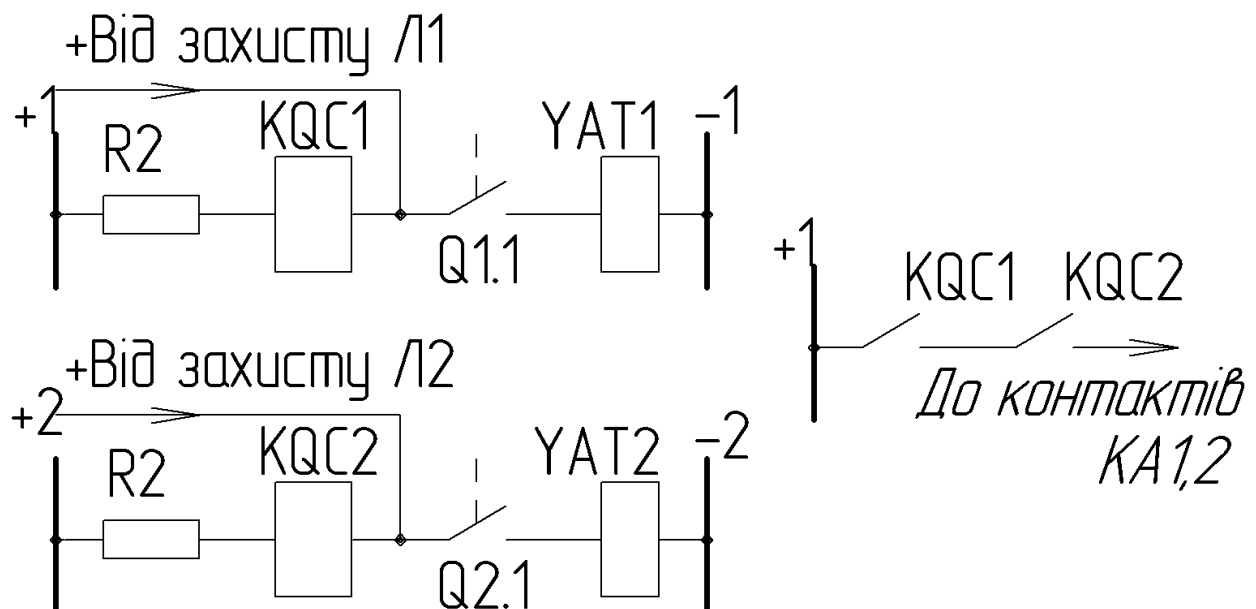


Рис. 6.5. Схема блокування захисту при відключенні однієї з паралельних ліній

каскадної дії захисту підстанції Б (точка КЗ). Першим відключається вимикач Q2, при цьому оперативний струм із захисту знімається. Після відключення вимикача Q2 весь струм к. з. направляється від шин підстанції А через неушкоджену лінію Л1. При цьому пусковий орган продовжує залишатися в стані після спрацьовування, а орган напрямку потужності замикає контакт у ланцюзі відключення вимикача Q1. Відсутність оперативного струму запобігає неправильному відключенню цього вимикача. Варто мати на увазі, що в режимі каскадної дії захист спрацьовує правильно тільки в тому випадку, якщо допоміжні контакти розмикають ланцюг оперативного струму з деяким випередженням щодо розмикання головних контактів вимикачів, що не завжди досягається. Схема блокування виходить більш надійною, якщо до захисту

підвести оперативний струм через послідовно включені контакти реле KQC1, KQC2 включені положення вимикачів Q1, Q2 (Рис. 6.5). Обмотки зазначених реле включаються послідовно з допоміжними контактами Q1.1, Q2.1 у ланцюгах електромагнітів YAT1, YAT2 відключення вимикачів. Реле положення повертається й розмикає контакт, виводячи захист з дії одразу ж при подачі плюса оперативного струму від захисту на відповідний електромагніт відключення.

6.6 ВИКОНАННЯ Й ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПОПЕРЕЧНИХ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ СТРУМОВИХ НАПРАВЛЕНИХ ЗАХИСТІВ

Поперечні диференційні струмові спрямовані захисти виконуються на основі загальних положень, викладених вище.

Захист на змінному оперативному струмі для мереж з ізольованими або заземленими через дугогасящі реактори нейтралями. Пусковий орган захисту виконується на електромагнітних реле струму KA1 і KJ2 типу РТ-40, включених на різниці струмів однойменних фаз (фази А - трансформатори струму ТА1 і ТАІ1, фази З - трансформатори струму ТАІ2 і ТАІІ2) паралельних ліній (Рис. 6.6,а,б,в). Як вибірні органи використані реле напрямку потужності KW1 і KW2 двосторонні дії типу РЕМ. Реле включаються за 90-градусною схемою на різниці струмів однойменних фаз (А і С) паралельних ліній і відповідні міжфазні напруги. У схемі захисту передбачається пофазний пуск реле напрямку потужності. Це виключає можливість неправильної роботи захисту при двофазних коротких замиканнях, при яких реле напрямку потужності, включене на струм неушкодженої фази, може подіяти на відключення неушкодженої лінії під впливом струму небалансу й при каскадному відключенні коротко замикання під впливом струму в неушкодженій фазі.

Захист виконаний за схемою з дешунтуванням електромагнітів відключення вимикачів. Для цієї мети використовуються проміжні реле KL1 – KL4 типу РП-341. Реле KL1 і KL2 включаються в ланцюзі трансформаторів струму ТАІ1 ТАІ2 і при спрацьовуванні відключають лінію Л1, а реле KL3 і KL4 включаються в ланцюзі трансформаторів струму ТАІІ1 і ТАІІ2 і діють на відключення лінії Л2. Ці реле управляються замикаючими контактами реле KA1 і KA2 пускові органи, реле KW1 і KW2 органи напрямку потужності й реле часу КТ, що вводить у дію захист з $t_{с.з} = 0,1$ для відстройки захисту від роботи розрядників. У ланцюзі керування включені послідовно з'єднані допоміжні контакти вимикачів Q1, Q2, що розривають ланцюг при відключенні одного з вимикачів. Для фіксації спрацьовування захисту передбачаються вказівні реле КН1 - КН4.

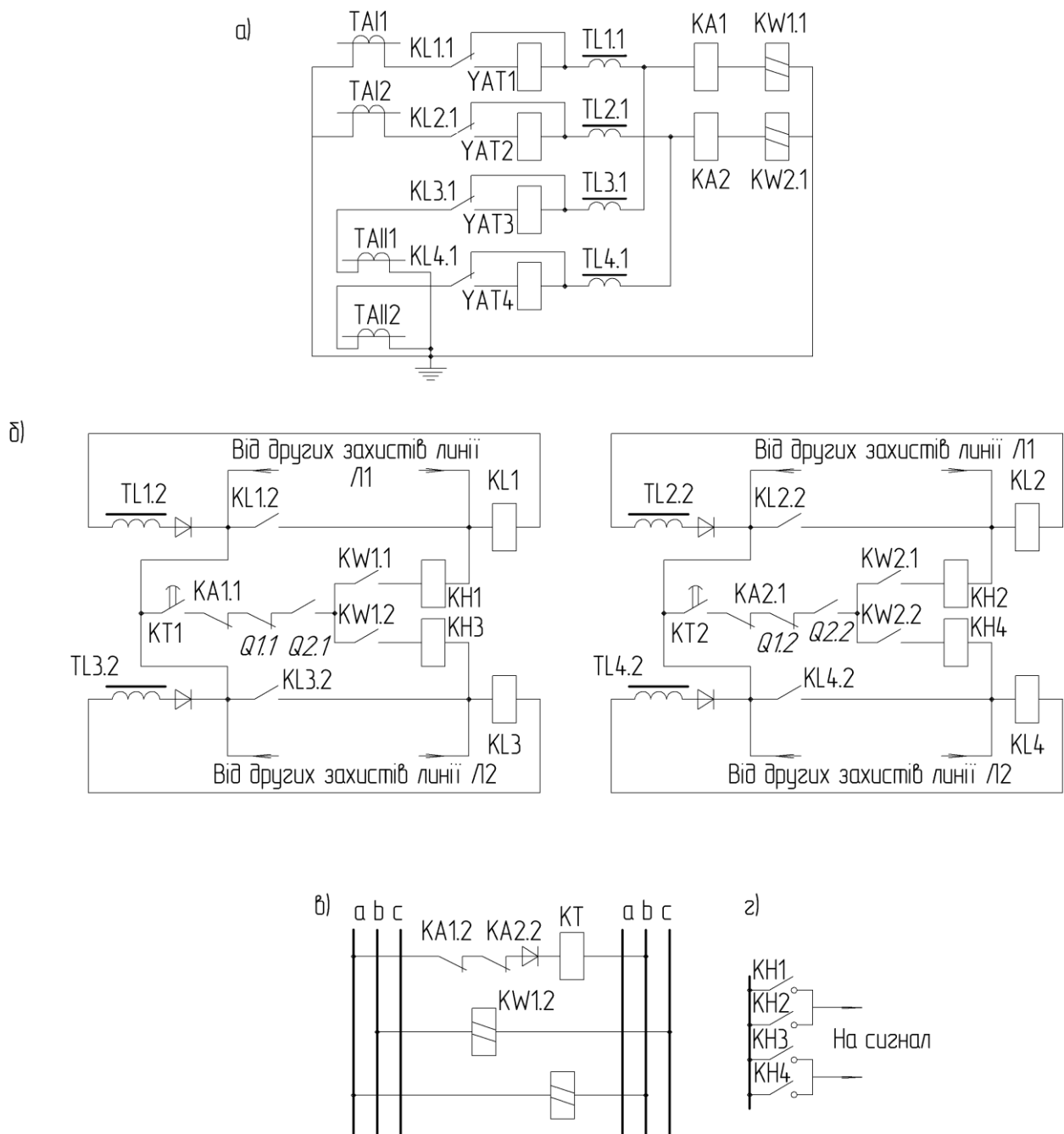


Рис. 6.6. Принципова схема двофазного поперечного диференційного струмового направленої захисту паралельних ліній, виконаного на оперативному змінному струмі

Оцінка й область використання. Поперечний диференційний струмовий направлений захист порівняно простий. Його позитивними якостями є також швидкодія, не реагування на хитання й, як правило, досить висока чутливість. Однак захист має ряд недоліків. Насамперед це наявність мертвої зони по напрузі й зони каскадної дії. Принциповим недоліком захисту є можливість неправильної дії, що супроводжується відключенням обох ліній при обриві проводів однієї з захищаних ліній з однобічним коротким замиканням. Усунення цього недоліку пов'язане з ускладненням захисту й, як правило, не виконується.

У мережах з ізолюваними або заземленими через дугогасні реактори нейтралями в режимі каскадної дії захист може відключати обидві лінії при подвійному замиканні на землю, коли одне місце ушкодження перебуває на одній з паралельних ліній, а інше - поза ними. Поперечний диференційний струмовий направлений захист за принципом дії є захистом двох паралельно працюючих ліній, а при відключенні однієї з них захист автоматично виводиться з дії, тому поряд з поперечним диференціальним захистом на лініях повинен передбачатися додатковий захист, що також є резервним до захистів суміжних елементів.

Досвід експлуатації поперечного диференційного струмового направленої захисту показує, що ряд з відзначених недоліків проявляється дуже рідко. Тому ці захисти широко використовуються як основні захисти ліній у мережах напругою до 35 кВ.